

Année 1967

N°

# FATIGUE ET ADAPTATION AU COURS DU VOL A VOILE

*(Bilan de deux campagnes d'étude effectuées  
au Centre National de Vol à Voile de  
St-AUBAN-sur-Durance)*

Travail du Laboratoire de Physiologie de la Faculté de  
Médecine de NANCY

Thèse présentée et soutenue publiquement  
le 8 décembre 1967  
pour obtenir le grade de Docteur en Médecine  
par Jacques MÉNOU  
Ancien Externe des Hôpitaux de Nancy  
Ancien Moniteur au Laboratoire de Physiologie  
Ancien Elève de l'Ecole du Service de Santé des Armées  
né le 16 juin 1942 à Montpellier

*Examineurs de la thèse :*

|                                                    |           |
|----------------------------------------------------|-----------|
| MM. P. ARNOULD, Professeur .....                   | Président |
| J. LEPOIRE, Professeur .....                       | Juges     |
| P. BOUVEROT, M <sup>e</sup> de Conférences, Agrégé |           |
| M. BOULANGE, M <sup>e</sup> de Conférences, Agrégé |           |



Digitized by the Internet Archive  
in 2026





FATIGUE ET ADAPTATION  
AU COURS DU VOL A VOILE

*(Bilan de deux campagnes d'étude effectuées  
au Centre National de Vol à Voile de  
St-AUBAN-sur-Durance*



UNIVERSITÉ DE NANCY  
FACULTÉ DE MÉDECINE

*Doyen* : M. A. BEAU  
*Assesseur* : M. C. BURG

*Doyens honoraires*  
MM. LUCIEN, SIMONIN

*Professeurs honoraires*  
MM. JEANDELIZE, SAINTENOISE, CHAILLEY-BERT, HAMANT, MUTEL,  
FRANCK, MELNOTTE, VERMELIN, HOUPERT, BODART

*Professeurs*

|                                              |               |
|----------------------------------------------|---------------|
| Anatomie .....                               | M. CAYOTTE    |
| Anatomie pathologique .....                  | M. FLORENTIN  |
| Bactériologie et parasitologie .....         | M. HELLUY     |
| Chimie biologique .....                      | M. WOLFF      |
| Clinique chirurgicale A .....                | M. CHALNOT    |
| Clinique chirurgicale B .....                | M. BERTRAND   |
| Clinique chirurgicale infantile .....        | M. BEAU       |
| Clinique chirurgicale et gynécologique ..... | N...          |
| Clinique dermato-syphiligraphique .....      | M. BEUREY     |
| Clinique médicale A .....                    | M. HERBEUVAL  |
| Clinique médicale B .....                    | M. KISSEL     |
| Clinique de neurologie et psychiatrie .....  | M. ARNOULD G. |
| Clinique de neuro-chirurgie .....            | M. LEPOIRE    |
| Clinique obstétricale .....                  | M. HARTEMANN  |



|                                                |               |
|------------------------------------------------|---------------|
| Clinique ophtalmologique .....                 | M. THOMAS     |
| Clinique oto-rhino-laryngologique .....        | M. GRIMAUD    |
| Clinique de pédiatrie et puériculture .....    | M. NEIMANN    |
| Clinique de pneumo-phtisiologie .....          | M. LAMY       |
| Clinique rhumatologique .....                  | M. LOUYOT     |
| Clinique stomatologique .....                  | M. GOSSEREZ   |
| Clinique des voies urinaires .....             | M. GUILLEMIN  |
| Electro-radiologie clinique .....              | M. ROUSSEL    |
| Embryologie .....                              | M. DOLLANDER  |
| Histologie .....                               | M. LEGAIT     |
| Hydrologie thérapeutique et pharmacologie .... | M. LAMARCHE   |
| Hygiène et médecine sociale .....              | M. SENAULT    |
| Médecine légale .....                          | M. HEULLY     |
| Médecine du travail et réadaptation .....      | M. PIERQUIN   |
| Pathologie chirurgicale .....                  | M. LOCHARD    |
| Pathologie médicale .....                      | M. HARTEMANN  |
| Physiologie .....                              | M. ARNOULD P. |
| Physio-pathologie respiratoire .....           | M. SADOUL     |
| Physique .....                                 | M. BURG       |
| Clinique chirurgicale traumatologique .....    | M. SOMMELET   |
| Thérapeutique .....                            | M. FAIVRE     |



*Professeurs à titre personnel*

MM. DUREUX, de LAVERGNE, RAUBER, PIERSON

*Professeurs sans chaire*

MM. CORDIER, CUNY, DEBRY, GROSS, LARCAN, PAYSANT, RIBON, RICHON,  
SCHMITT

*Maîtres de Conférences agrégés*

|                                      |                 |
|--------------------------------------|-----------------|
| Anatomie et chirurgie générale ..... | N...            |
| Anatomie pathologique .....          | N...            |
| Anesthésiologie .....                | M. PICARD       |
| Bactériologie .....                  | M. BURDIN       |
| Carcinologie .....                   | M. CHARDOT      |
| Chimie .....                         | M. NABET        |
| Chirurgie .....                      | M. BESSOT       |
| Electroradiologie .....              | N...            |
| Electroradiologie .....              | Mme TREHEUX     |
| Electroradiologie .....              | M. BERNADAC     |
| Electroradiologie .....              | M. HOEFFEL      |
| Hématologie .....                    | M. STREIFF      |
| Hématologie .....                    | M. PETERS       |
| Histologie .....                     | M. GRIGNON      |
| Hygiène .....                        | M. FOLIGUET     |
| Médecine et thérapeutique .....      | M. BABEAU       |
| Médecine et thérapeutique .....      | M. GAUCHER      |
| Médecine et thérapeutique .....      | M. GILGENGRANTZ |
| Médecine et thérapeutique .....      | M. GRILLIAT     |
| Médecine et thérapeutique .....      | N...            |
| Médecine légale .....                | M. de REN       |
| Neuro-chirurgie .....                | M. MONTAUT      |
| Neurologie et psychiatrie .....      | M. TRIDON       |
| Neurologie et psychiatrie .....      | M. LAXENAIRE    |
| Pathologie expérimentale .....       | M. LACOSTE      |
| Pharmacologie .....                  | N...            |



|                                 |             |
|---------------------------------|-------------|
| Pédiatrie et puériculture ..... | M. MANCIAUX |
| Pneumo-ptisiologie .....        | M. ANTHOINE |
| Physiologie .....               | M. BOULANGÉ |
| Physiologie .....               | M. BOURA    |
| Physiologie .....               | M. BOUVEROT |
| Physique .....                  | M. MARTIN   |
| Physique .....                  | M. ROBERT   |

*Agrégés en exercices*

|                                              |               |
|----------------------------------------------|---------------|
| Chirurgie .....                              | M. BENICHOUX  |
| Chirurgie .....                              | M. MICHON     |
| Chirurgie .....                              | M. GROSDIDIER |
| Chirurgie .....                              | M. PREVOT     |
| Chirurgie .....                              | M. VICHARD    |
| Chirurgie .....                              | M. FRISCH     |
| Médecine .....                               | M. HURIET     |
| Médecine légale et médecine du travail ..... | M. PERNOT     |
| Ophtalmologie .....                          | N...          |
| Oto-rhino-laryngologie .....                 | M. WAYOFF     |

*Agrégés libres*

M. ANDRÉ, ARNULF, ALGAN

*Secrétaire* : M. SEUROT

La Faculté a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend ni les approuver, ni les imputer.



*A notre Maître et Président de Thèse*

M. LE PROFESSEUR P. ARNOULD

Professeur de Physiologie

Directeur de l'Institut Régional d'Education Physique



*A nos Juges*

M. LE PROFESSEUR J. LEPOIRE  
Professeur de Clinique neurochirurgicale

M. LE PROFESSEUR AGRÉGÉ P. BOUVEROT  
Maître de Conférences agrégé de Physiologie  
Chevalier de la Légion d'Honneur

M. LE PROFESSEUR AGRÉGÉ M. BOULANGÉ  
Maître de Conférences agrégé de Physiologie  
Biologiste des Hôpitaux  
Chargé de Cours de Médecine Aéronautique



A M. LE PROFESSEUR AGRÉGÉ M. BOURA

Maître de Conférences agrégé de Physiologie

A M. LE PROFESSEUR AGRÉGÉ J. MONTAUT

Maître de Conférences agrégé de Neurochirurgie

Neurochirurgien des Hôpitaux

A M. LE PROFESSEUR AGRÉGÉ L. M. ROGNON

Maître de Conférences agrégé de Pathologie chirurgicale

Chirurgien des Hôpitaux

A M. LE PROFESSEUR AGRÉGÉ M. FOLIGUET

Maître de Conférences agrégé d'Hygiène

Chevalier de la Légion d'Honneur

A M. LE DOCTEUR R. SCHALOW

Ancien Externe des Hôpitaux de Nancy

Administrateur de la Fédération française de Vol à Voile



A NOS MAITRES A LA FACULTÉ

A NOS MAITRES DANS LES HOPITAUX



## A LA MÉMOIRE DE MON PÈRE

*Mort au Champ d'Honneur*

## A MA MÈRE

*C'est à son abnégation que nous devons d'avoir pu mener à bien nos études. Puisse ce travail être le témoignage de notre amour et de notre profonde gratitude.*

## A MA FEMME

*Ce travail est également le sien, qu'il soit le gage de notre indéfectible amour.*

## A MON FILS

## A MA SŒUR

*Qui n'a cessé d'oublier ses soucis pour ne considérer que les nôtres; elle a su s'acquitter à merveille de son rôle d'aînée; notre dette envers elle est infinie.*

## A MES BEAUX-PARENTS, A MON BEAU-FRÈRE

*Qu'ils trouvent ici l'expression de toute notre affection.*

## A NOS AMIS

*M. L. BOISMARTEL*

*M. G. FRAT*

*M. J. SOUMET*

*Qu'ils soient assurés de tout notre attachement et de notre reconnaissance.*

MEIS ET AMICIS



A MONSIEUR LE MÉDECIN GÉNÉRAL INSPECTEUR PETCHOT-BACQUE

Directeur du Service de Santé des Armées  
Commandeur de la Légion d'Honneur  
Grand Officier de l'Ordre National du Mérite

A MONSIEUR LE MÉDECIN GÉNÉRAL INSPECTEUR BORON

Professeur Agrégé du Val-de-Grâce  
Directeur de l'Ecole du Service de Santé des Armées  
et de l'Hôpital d'Instruction des Armées Desgenettes - Lyon

A MONSIEUR LE MÉDECIN COLONEL JUDEAU

Neuro-Psychiatre des Hôpitaux des Armées  
Médecin-Chef de l'Hôpital des Armées Sédillot  
Chevalier de la Légion d'Honneur

A MONSIEUR LE MÉDECIN COMMANDANT HENRY

Ophtalmologiste des Hôpitaux des Armées  
Commandant le Détachement E.S.S.M. de Nancy



## **SERMENT**

*Sur ma conscience, en présence de mes Maîtres et de mes Condisciples, je jure d'exercer la Médecine suivant les lois de la morale et de l'honneur, et de pratiquer scrupuleusement tous mes devoirs envers les malades, mes confrères et la société.*



## AVANT-PROPOS

Ce travail, qui constitue notre thèse inaugurale, est le fruit de l'activité d'une équipe. C'est pourquoi nous nous devons d'exprimer notre gratitude à tous ceux qui en ont facilité l'élaboration. Notre reconnaissance s'exprimera tout d'abord envers les Maîtres qui ont inspiré cette recherche, nous ont permis de mener à bien notre tâche, et acceptent aujourd'hui de la juger.

M. le Professeur P. ARNOULD nous a ouvert, il y a quatre ans déjà, les portes de son laboratoire. Il n'a cessé depuis de manifester sa confiance à notre égard, en nous attribuant, durant plusieurs années, un poste de préparateur de Physiologie et en nous permettant, depuis quelques mois, d'assurer les fonctions d'attaché-assistant de Sciences fondamentales. De par sa triple qualité de Titulaire de la Chaire de Physiologie, de Directeur de l'Institut régional d'Education physique, et de responsable de l'enseignement du C.E.S. de Médecine aéronautique, il était tout naturellement conduit à présider notre jury de thèse. Nous sommes heureux, en cette occasion, de pouvoir lui dire toute notre respectueuse admiration et notre vive reconnaissance.

Nous savons gré à M. le Professeur J. LEPOIRE d'avoir bien voulu juger lui aussi notre travail. Après nous avoir accueilli comme externe dans son service, il nous a fait l'honneur de nous confier les fonctions d'interne un an durant. Malgré les tâches lourdes et croissantes de la clinique neuro-chirurgicale, il nous a encouragé dans la voie que nous avons suivie, de partager notre activité entre l'hôpital et un laboratoire de Sciences fondamentales. Nous avons pu apprécier ses brillantes qualités de chirurgien, sa vaste érudition et la rigueur de son raisonnement clinique. Nous le remercions ici bien vivement pour la grande compréhension dont il a toujours fait preuve à notre égard, et pour l'enseignement qu'il nous a dispensé.

Nous avons travaillé aux côtés de M. le Professeur agrégé P. BOUVEROT et avons été séduit par ses qualités didactiques et par son talent d'expérimentateur rigoureux. Ses profondes connaissances dans la Physiologie aéronautique, la bienveillante attention qu'il nous a toujours accordée, nous ont conduit à lui soumettre notre travail. Nous sommes heureux qu'il ait consenti à en être également juge.

M. le Professeur agrégé M. BOULANGÉ nous a confié le sujet de cette thèse à l'issue de la première période de recherches qui s'était déroulée en septembre 1966 au centre de Saint-Auban. Depuis, il n'a jamais cessé de nous accorder son aide et ses précieux conseils; il nous a guidé lors du dépouillement et de l'interprétation des résultats, nous a fait profiter de son expérience personnelle du vol à voile et nous a conseillé lors de la rédaction même; enfin, il s'est occupé de la plupart des problèmes matériels inhérents à l'impression de ce travail. Notre dette envers lui est multiple; nous avons été particulièrement touchés par sa simplicité, sa gentillesse, son dynamisme, sa disponibilité de tout moment malgré ses nombreuses obligations, et enfin par la confiance qu'il a bien voulu nous accorder. Qu'il soit assuré de notre attachement et de notre profonde gratitude.

Mais l'appui, les avis, le travail en collaboration ont été également le fait d'autres personnalités du Laboratoire de Physiologie et d'autres Laboratoires de la Faculté de Médecine de Nancy. M. le Professeur agrégé M. BOURA nous a fait bénéficier de ses compétences en Médecine sportive et nous a guidé dans la rédaction de nos chapitres ayant trait aux épreuves cardio-vasculaires et aux besoins nutritionnels des pilotes. M. le Professeur G. DEBRY et ses collaborateurs du Groupe de Recherches de l'INSERM de Nutrition et de Diététique nous ont permis de mettre au point la partie de notre expérimentation relative aux mesures glycémiques, et à l'enquête diététique que nous avons pu pratiquer. M. le Professeur P. PAYSANT a réalisé, au laboratoire de Chimie biologique du Centre hospitalier régional, une partie des dosages de notre recherche endocrinienne. A tous, nous exprimons notre profonde reconnaissance.

Les amicales relations entretenues par nos Maîtres avec le Laboratoire de Physiologie de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Dijon ont conduit M. le Professeur J. KLEPPING et ses collaborateurs, notamment le Docteur G. CALLEMENT, à participer directement à nos travaux; c'est grâce à leur compétence et leur amabilité que nous pouvons faire état de résultats particulièrement intéressants relatifs à l'excrétion des catécholamines au cours du vol à voile.

Il nous est impossible d'individualiser les mérites de tous les membres des différentes équipes du Laboratoire de Physiologie qui se sont succédées à Saint-Auban-sur-Durance : les Docteurs J.-P. CRANCE et J.-P. DESCHAMPS, chefs de travaux de Physiologie, les Docteurs J.-M. BERTHEAU, J. CUILLER, C. FONTENAILLE et F. ROMBACH, attachés assistants de Sciences fondamentales, Mme M. ROMBACH, attachée de recherches au C.N.R.S., Mlle le docteur J. COMOY, M. J.-C. PABST, préparateur, Mlle F. MASSON, aide de laboratoire, ont concouru tant dans la préparation à Nancy, qu'au cours du déroulement des recherches à Saint-Auban, à la réussite des projets élaborés et coordonnés par M. le Professeur agrégé M. BOULANGÉ.

Mais toute cette organisation aurait été improductive sans l'amicale collaboration du personnel et des pilotes stagiaires du Centre National de Vol à Voile de Saint-Auban; grâce en particulier à l'appui de ses dirigeants, MM. M. GASNIER, J. LANDI et M. APERCÉ. Leur coopération fut immédiate et totale et, c'est un faible témoignage de gratitude de notre part que de leur dédier également ce travail.

L'étude originale qui se trouve résumée dans notre thèse est en fait le fruit de la collaboration de deux grandes administrations : c'est grâce aux autorisations et aux appuis de M. le Doyen A. BEAU, de la Faculté de Médecine de Nancy, et de M. J. POIRIER, Directeur du Service de la Formation aéronautique, que les divers aspects matériels de la tâche entreprise ont pu être tour à tour résolus. Nous tenons à remercier tout particulièrement M. J. POIRIER de l'aide matérielle qu'il nous a apportée afin de parfaire l'édition de notre travail.

Nous tenons enfin, sur un plan plus personnel, à exprimer toute notre gratitude envers Monsieur le Professeur agrégé J. MONTAUT qui a été pour nous un conseiller bienveillant et avisé. Ses qualités humaines, son expérience et son habileté resteront dans notre souvenir ; nous avons été particulièrement honoré de la sollicitude et de la sympathie qu'il nous a manifestées. Nous lui associerons, dans un sentiment d'amicale reconnaissance les Docteurs H. HEPNER et M. RENARD et l'ensemble de l'Equipe de la Clinique neuro-chirurgicale avec lesquels il nous a été permis d'œuvrer.



## INTRODUCTION

En juillet 1965, survenaient coup sur coup deux accidents mortels au Centre national de Vol à Voile de Saint-Auban-sur-Durance, dans les Basses-Alpes, l'un dû à une collision en vol, l'autre à un atterrissage en catastrophe dans un massif montagneux. Ce sport de risque, école de caractère et de perfectionnement dans les connaissances aéronautiques et aérologiques n'a cependant pas, en France, une réputation de sport dangereux ; sa pratique est en effet placée sous un double contrôle extrêmement sérieux de la qualité des machines ainsi que de la qualification des pilotes.

L'origine la plus vraisemblable de cette « série noire » dans un centre réputé pour sa sécurité, semblait revenir au facteur humain. Les pilotes en cause étaient de jeunes universitaires, en vacances depuis quelques jours seulement, et chez lesquels les agressions cumulées d'une année scolaire, de la soutenance d'examens, d'un voyage récent, d'une adaptation climatique, et enfin du retour à la pratique d'une activité différenciée après une période sans entraînement ne pouvait aboutir qu'au développement d'un état de fatigue.

Ce sont ces réflexions qui devaient conduire quelques mois plus tard, sur les instigations du Docteur SCHALOW, médecin vélivole, les instructeurs du Centre national de Saint-Auban à demander au Professeur agrégé BOULANGÉ de mettre sur pied une expérimentation destinée à mettre en évidence, à analyser, et en définitive à prévenir l'état de fatigue supputé chez ces pilotes.

Dès l'été 1966 avait lieu une première phase de cette recherche, consistant en l'étude du comportement psychotechnique, cardio-vasculaire et endocrinien de douze pilotes stagiaires et de leurs instructeurs, comparé à celui de sujets témoins ne participant à aucune activité en vol. Ce premier travail devait d'ailleurs nécessiter, non seulement le transport à Saint-Auban d'une importante équipe du Laboratoire de Physiologie de la Faculté de Médecine de Nancy, mais solliciter également la collaboration des Laboratoires de Physiologie de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Dijon, et de Chimie biologique du Centre hospitalier régional de Nancy.

Une observation fortuite d'accident syncopal survenant après un vol prolongé faite pendant ce premier stage devait aboutir à la mise sur pied, en juillet 1967, d'une seconde expérimentation plus spécialement orientée vers l'étude des composantes nutritionnelles de la fatigue chez les pilotes de vol à voile; l'incident constaté avait en effet une très vraisemblable origine hypoglycémique.

C'est l'ensemble des travaux effectués durant ces deux stages qui se trouve résumé dans cette thèse, dont la réalisation a été projetée à l'issue de la première phase des recherches. Nous avons pu ainsi nous incorporer à l'équipe initiale et participer à la plus grande partie des travaux de dépouillement des premiers résultats. Puis, nous avons vécu la réalisation de la totalité de la seconde phase expérimentale, ce qui nous a, conjointement au travail de recherche physiologique, permis de nous initier à Saint-Auban aux problèmes du vol à voile, et nous autorise aujourd'hui à rédiger avec moins de difficultés les chapitres de notre thèse faisant appel à d'indispensables connaissances sur la nature et la pratique de ce sport aéronautique.

Notre exposé comportera donc, après une étape analytique des facteurs possibles de fatigue au cours du vol à voile, une étude détaillée de ceux, parmi les très nombreux énumérés, qui ont pu être abordés par notre recherche : facteurs endocriniens, psychotechniques, cardiovasculaires, nutritionnels enfin. Chacun des chapitres qui leur sera consacré comportera, tour à tour, un abord théorique du problème, l'exposé des techniques et la justification de leur choix, enfin les résultats dont nous entreprendrons simultanément la discussion afin d'éviter des redites et par crainte d'une certaine confusion devant la multiplicité des méthodes proposées et utilisées.

Il ne nous restera plus, au terme de cette étude analytique, qu'à regrouper les informations les plus caractéristiques apportées par notre recherche, et d'essayer d'en faire surgir les directives dont l'application devra être doublement profitable au vol à voile, sous l'aspect de l'amélioration des performances humaines, et surtout sous celui de l'accroissement de la sécurité aérienne.

## CHAPITRE PREMIER

---

Les facteurs de fatigue  
chez les pilotes de vol à voile



## LES FACTEURS DE FATIGUE CHEZ LES PILOTES DE VOL A VOILE

Etant à la fois un art, celui du pilotage, et une science, celle de l'aérologie, le vol à voile est de définition difficile. Disons que cette activité consiste en l'utilisation rationnelle au moyen d'un planeur des courants aériens à composante verticale, soit dans un but purement sportif, soit à la recherche d'une connaissance plus profonde des phénomènes atmosphériques, soit afin de réaliser plus complètement la formation du pilote d'aéronef.

Sans nous attarder sur les considérations historiques du développement du vol à voile, que l'on trouvera dans les ouvrages spécialisés de NESSLER ou de SIRRETTA, indiquons cependant brièvement en quoi consiste cette activité aéronautique, de façon à établir les facteurs techniques générateurs de nuisances au cours de sa pratique. Un exposé plus détaillé de ces divers problèmes a notamment été fait par ACHÉ, médecin vélivole, dans sa thèse sur la physio-pathologie du vol à voile, inspirée par ses maîtres du Laboratoire de Physiologie de la Faculté de Médecine de Bordeaux.

Deux grandes formes de vol à voile peuvent être individualisées : le vol « thermique », dit de plaine, qui utilise les ascendances dues à l'échauffement diurne, et permet la réalisation de parcours ou de circuits souvent de grandes distances (300, 500 kilomètres et plus) à des altitudes généralement inférieures à 3.000 mètres. Les restrictions apportées au vol à voile par le développement des diverses aviations interdisent actuellement le vol dans les nuages à développement vertical, et minimisent de ce fait des problèmes physio-pathologiques tels que ceux de l'anoxie ou du pilotage sans visibilité qui s'y rattachent. Le même type d'ascendance est exploité dans les régions montagneuses; mais le relief permet également l'utilisation de courants verticaux d'origine thermique ou dynamique le long des parois rocheuses ensoleillées et exposées à des vents généraux. Le vol à voile thermique en montagne nécessite alors des évolutions à très faible distance des obstacles, avec tous les problèmes d'agression émotionnelle qu'une telle proximité peut entraîner.

La deuxième forme de vol à voile, à laquelle nous nous sommes moins intéressés dans ce travail, mais qui nécessiterait à elle seule des recherches médico-physiologiques approfondies, consiste en l'utilisation des courants ondulatoires apparaissant sous le vent des massifs monta-

gneux ; la formation de ces systèmes ondulatoires stationnaires peut entraîner les planeurs jusqu'au niveau de la stratosphère, et l'on imagine facilement les problèmes posés par l'altitude, le froid, l'isolement, etc., que de tels vols peuvent comporter.

L'analyse de l'une et de l'autre de ces deux formes de vol à voile, et des corollaires de leur pratique, nous amène donc à énumérer les facteurs suivants de fatigue pouvant s'additionner au cours de la réalisation de ce sport :

Le premier groupe des causes génératrices de fatigue est lié à l'altitude, à laquelle se rattachent les problèmes d'anoxie, de dépression atmosphérique et de froid. Cependant, comme nous l'avons déjà signalé, les vols de plaine, auxquels notre étude se rattache, ne permettent qu'exceptionnellement de franchir le seuil des 3.000 mètres, à partir duquel commencent à apparaître les conséquences physio-pathologiques de la privation d'oxygène. C'est par contre lors de vols dans un système ondulatoire que le Dr SCHALOW avait réussi, en 1965, l'enregistrement d'électrocardiogrammes en planeur à l'altitude de 8.000 mètres.

Les effets de la dépression atmosphérique ne sont généralement ressentis qu'au cours de ces derniers types de vols, au moins en ce qui concerne les cavités digestives dont le contenu gazeux se dilate avec l'altitude. La vitesse ascensionnelle lente (+ 2 à + 5 mètres par seconde) empêche l'apparition d'incidents au niveau de l'oreille moyenne, à moins que le sujet ne présente une inflammation rhino-pharyngée importante. Il en va différemment lors de la descente qui peut être très rapide (traversées d'un système sous-ondulatoire turbulent, incident en vol, épuisement des réserves d'oxygène, proximité de la nuit, etc.). L'utilisation des aéro-freins permet le piqué à la verticale (15 à 20 mètres par seconde); en absence de déglutitions répétées, de telles évolutions risquent d'être dangereuses pour les membranes tympaniques.

Si le vol à haute altitude implique un abaissement thermique considérable de l'ambiance de la cabine, le même phénomène peut également se produire lors d'un vol prolongé à altitude moyenne, à proximité du niveau estival de l'isotherme 0° C. Les caractéristiques d'étanchéité de l'habitacle, les dimensions de la verrière, la présence ou non d'une protection contre les radiations solaires font que la température de la cabine peut atteindre un niveau très variable. C'est cependant fréquemment que les pilotes se plaignent de refroidissement ou d'engourdissement des membres inférieurs, voire des mains lorsqu'elles ne sont pas gantées. Des gelures ont même été constatées après des vols prolongés à haute altitude.

Qu'il s'agisse d'un vol thermique ou sous-ondulatoire, le planeur évolue dans une atmosphère turbulente. Ces perturbations atmosphériques, du fait des excitations sensorielles subies, constituent le second groupe des nuisances génératrices de différents maux. En raison de

l'étroitesse des zones ascendantes, le planeur, pour gagner de l'altitude, évolue en spirales; ce mouvement rotatoire sollicite les terminaisons sensibles labyrinthiques du pilote. Si la montée est régulière, les canaux semi-circulaires ne seront excités qu'au début et à la fin de la spirale. Mais l'ascendance, souvent « hachée », entraîne des excitations répétées de l'oreille interne; il peut résulter de petites sensations vertigineuses et le déclenchement du « mal de l'air ». La nécessité pour le pilote de planeur de réaliser la presque totalité de ses évolutions dans cette atmosphère perturbée fait de lui une victime de choix des naupathies. Les évolutions serrées, l'ambiance thermique, les odeurs de vernis sont des facteurs adjuvants sinon déclenchants. Comme dans tout mode de transport, le sujet qui pilote la machine prévoit dans une certaine mesure les accélérations liées à son action sur les commandes; il éprouve ainsi moins de malaise que ses passagers. C'est pourquoi, en vol à voile, le mal de l'air aboutissant aux nausées et aux vomissements a pour principales victimes les élèves en planeur biplace. L'entraînement d'une part, la maîtrise des évolutions d'autre part, font le plus souvent disparaître la naupathie. Reste le problème des agents pharmacodynamiques, employés généralement de façon inavouée, et dont certains sont connus pour engendrer la somnolence ou diminuer la résistance à l'anoxémie. Leur prescription devrait être limitée à la période d'entraînement, de façon à rompre le cercle vicieux et le conditionnement d'une naupathie naissante.

Ces facteurs de nuisance du vol à voile, tels qu'ils ont été notamment décrits par ACHÉ dans sa thèse, ne nous paraissent cependant pas les seuls susceptibles d'entraîner des perturbations au niveau de l'organisme des pilotes. Si nous envisageons ces facteurs physiopathologiques, non pas à partir de l'environnement, c'est-à-dire de l'atmosphère (altitude, température, pression, mouvement), mais à partir de l'organisme humain, nous constatons une sollicitation de l'ensemble des fonctions, ce qui nous amène à découvrir un certain nombre de facteurs extérieurs ayant échappé à de précédentes investigations. Considérons, tout d'abord, le cas des fonctions de relation : nous savons que leur versant afférent est constamment mis en jeu, et nous venons d'envisager la destinée des informations labyrinthiques. Mais les informations visuelles sont également très importantes : plusieurs planeurs évoluent souvent ensemble dans la même ascendance et les pilotes doivent prêter une grande attention dans la totalité de leur champ visuel pour éviter une collision; cette attention est d'autant plus éprouvante que la trajectoire en spirale fait alterner les zones d'ombre et d'éblouissement; si l'atmosphère est brumeuse, une ligne droite, face au soleil, devient pénible, et même dangereuse s'il s'agit d'une manœuvre d'approche préluant à l'atterrissage.

Le versant efférent paraît mis en cause dans une moindre mesure : les gestes du pilotage sont de faible amplitude, surtout sur les planeurs modernes, et la fatigue musculaire nous paraît, a priori, peu importante. Il faut cependant signaler le caractère éprouvant d'une position assise prolongée; les pilotes se plaignent fréquemment de douleurs dorsales et

fessières aggravées par les protubérances du harnais du parachute souvent mal adapté. L'immobilisation articulaire et musculaire, les douleurs et l'impotence en résultant sont d'ailleurs des facteurs qui joueraient défavorablement si l'évacuation de la machine et un saut en parachute devenaient brutalement nécessaires.

Quant aux fonctions d'intégration du système nerveux central, elles sont éminemment sollicitées pour faire face aux besoins du pilotage, de la navigation, et du vol à voile proprement dit. Mais, si cette mise en jeu aboutit au déroulement d'actes moteurs appropriés, elle conduit également à l'activation des fonctions végétatives corollaires : appareils cardiovasculaire et respiratoire, glandes endocrines, organes de nutrition qui peuvent, eux aussi, présenter des signes de fatigue. Mais les modalités de fonctionnement du système nerveux ne sont pas seulement réflexes ou automatiques, ou l'aboutissement d'un phénomène d'apprentissage. Le psychisme lui-même, du fait de l'isolement, de la multiplicité des agressions émotionnelles — en particulier les risques répétés de collision avec le sol ou avec d'autres aéronefs — est puissamment sollicité. La peur est, elle aussi, génératrice de fatigue : glandes endocrines et appareil cardiovasculaire en subiront directement les conséquences.

Outre ces facteurs psychologiques évidents, résultant de l'activité proprement aéronautique, il en est d'autres, bien connus par ces sociologues que sont les médecins du travail, qui peuvent intervenir comme générateurs de fatigue : ce sont les facteurs d'ambiance qui concernent aussi bien l'harmonie des rapports au sein du groupe des stagiaires, qu'entre ceux-ci et leurs instructeurs. Le dépaysement, la modification profonde du climat, la perturbation des habitudes alimentaires sont également des éléments qui représentent une agression certaine dans les premiers jours du stage.

Il faut enfin faire la part du travail extra-aéronautique fourni par les pilotes : déplacement des planeurs pour la mise en piste et sur la piste, travaux de menuiserie et d'entretien divers. De plus, certains véli-voles participent à d'autres activités aériennes fatigantes : nous pensons surtout ici au travail de remorquage des planeurs qui se pratique au moyen d'avions lents et bruyants. Le rythme des montées et des descentes de ces avions est obligatoirement rapide ; ces vols s'accomplissent toujours dans une atmosphère perturbée, dans un volume proche de l'aérodrome fréquenté, d'où la nécessité d'une attention soutenue pour prévenir les risques de collision. Nos propres investigations chez les pilotes d'avions remorqueurs nous montrent qu'il s'agit effectivement de l'un des postes de travail les plus fatigants sur les terrains de vol à voile.

Devant la multiplicité de ces facteurs, il est certain que notre expérimentation ne pourrait avoir la prétention d'être exhaustive. Seuls, quelques-uns d'entre eux, à la suite de nos réflexions préalables ou d'observations déterminantes, ont été choisis pour faire l'objet d'investigations ap-

profondies. C'est pourquoi nous exposerons, tour à tour, dans les chapitres à venir, les résultats provenant de recherches sur la fatigue endocrinienne, puis sur la fatigue de l'appareil cardio-vasculaire, ensuite sur celle du système nerveux, envisagée par le truchement de tests psychotechniques, enfin sur celle des fonctions de nutrition, nous permettant ainsi d'aborder le délicat problème de l'alimentation des pilotes de vol à voile.



## CHAPITRE II

---

Étude biochimique  
et endocrinienne



## ÉTUDE BIOCHIMIQUE ET ENDOCRINIENNE

Les recueils, puis les analyses, chez nos pilotes, de divers catabolites urinaires, nous ont permis d'aborder sous plusieurs angles complémentaires les problèmes de la fatigue ou de l'adaptation aux diverses agressions précédemment énumérées.

L'intensité de la fatigue musculaire a été appréciée par le dosage de la créatininurie et, dans une autre mesure, par la recherche de la réaction de Donaggio. La fatigue neuro-endocrinienne a été précisée en dosant l'excrétion de deux grandes catégories de catabolites humoraux ; ceux en provenance de la cortico-surrénale, et ceux issus de la portion médullaire de la même glande. On sait en effet l'importance de la mise en jeu de cette formation endocrinienne complexe lors de toute agression. Aussi, avant d'aborder l'analyse de nos propres investigations, nous nous attarderons tout d'abord sur le problème général du comportement des glandes endocrines lors de la fatigue, nous réservant d'exposer au cours du chapitre concernant le choix des méthodes les questions théoriques se posant à propos des catabolites de la contraction musculaire.

### FATIGUE ET GLANDES ENDOCRINES

Le rôle de la surrénale a été pressenti de longue date lors des états d'agression et de fatigue, mais il demeura longtemps confus jusqu'à ce que soient déterminés les rôles respectifs des zones corticale et médullaire de la glande, ainsi que la nature des hormones surrénaliennes et hypophysaires. On connaissait en effet l'importante fatigue entraînée par l'insuffisance surrénalienne, et l'on savait d'autre part que, chez l'animal soumis à différentes agressions, au milieu des autres signes d'involution, la glande surrénale était la seule à l'hypertrophier. L'attention s'est d'abord portée sur la médullaire et les troubles engendrés par l'insuffisance surrénalienne étaient alors considérés comme le résultat d'un déficit de sécrétion adrénalitique cependant, les injections d'adrénaline étaient impuissantes à enrayer les troubles induits par des surrénélectomies. Puis, le

rôle de la zone corticale fut pressenti lorsqu'il fut démontré que la destruction bilatérale de la médullaire seule n'était pas fatale, tandis que celle du cortex avait le même effet que la surrénalectomie totale.

Une autre étape importante a été accomplie entre 1930 et 1940 grâce aux travaux de REICHSTEIN et de KENDALL, qui ont pu préciser la constitution chimique des principaux corticoïdes ; ce n'est cependant qu'en 1953 que l'aldostérone a été identifiée.

Les concepts de la réaction d'alarme (1940) et du syndrome général d'adaptation (1946) sont formulés par SELYÉ et constituent les premiers essais d'interprétation synthétique de la physiopathologie de l'agression et de sa réponse non spécifique (stress). Chez les animaux surrénalectomisés et exposés au stress, on ne constate plus d'involution thymico-lymphatique ni de changements dans la formule sanguine, alors que d'autres phénomènes caractéristiques de la réaction d'alarme (tels les ulcères gastriques) sont beaucoup plus fréquents. L'administration d'extraits surrénaux provoque l'apparition des premiers symptômes alors qu'elle diminue les seconds. D'autre part, l'hypophysectomie est la seule intervention susceptible d'inhiber les modifications défensives de l'animal soumis au stress. De tous ces faits expérimentaux, il ressort que les hormones surrénales jouent un rôle primordial lors du développement du syndrome général d'adaptation. Parmi celles-ci, on peut distinguer, de par leur action, deux systèmes antagonistes : celui des « glucocorticoïdes » (antiphlogistiques) et celui des « minéralocorticoïdes » (prophlogistiques). Par ailleurs, la sécrétion de certaines hormones cortico-surrénales est soumise à l'influence des principes cortico-trophiques hypophysaires sécrétés par cet organe en cas de stress. On sait également que les stimulines hypophysaires sont elles-mêmes produites par des neurohormones hypothalamiques et que la sécrétion de corticotrophine dépend notamment d'un « corticoïd releasing factor ».

L'école de Worcester, dirigée par PINCUS, s'est attachée à retrouver chez l'homme les oscillations de la sécrétion des corticoïdes, mises en évidence par SELYÉ chez l'animal, notamment lors de la fatigue musculaire. Chez l'homme normal, l'élimination des 17-cétostéroïdes subit des variations en fonction du rythme nyctéméral ; l'excrétion basse pendant le repos nocturne (0,25 à 0,80 mg par heure) est à son maximum le matin au réveil (0,30 à 1,30 mg par heure). D'autre part, il a été vérifié que toute agression émotionnelle tend à augmenter le taux des 17-cétostéroïdes.

Lors de la deuxième guerre mondiale, l'école de Worcester voulant tester objectivement la fatigue des pilotes, a dosé l'élimination des 17-cétostéroïdes. Les dosages portaient sur deux groupes de sujets : certains effectuant des vols simulés, d'autres des vols réels ; on constatait chez les premiers une corrélation entre le nombre de fautes de pilotage et les 17-cétostéroïdes, la fatigue augmentant l'un et l'autre. Lors du vol réel,

on notait également une excrétion accrue des 17-cétostéroïdes, celle-ci étant en rapport direct avec la durée et la difficulté du vol. PINCUS faisait également état d'une hypoexcrétion compensatrice après la fin de l'épreuve. Ces expériences, de courte durée, impliquent non seulement un effort physique mais aussi une tension sensorielle et nerveuse, elles provoquent une hyperactivité surrénale qui rappelle la réaction d'alarme de l'animal soumis à un stress non spécifique.

De même, l'augmentation matinale des 17-cétostéroïdes semble due à l'effort du réveil et à la mise en train de l'organisme. Ces notions, apportées par PINCUS sur l'activité de la surrénale dans le nycthémère ont été précisées par des techniques plus discriminatoires du dosage des corticoïdes.

DOE, FLINCK et GOODSSELL ayant dosé les 17-hydroxycorticoïdes sanguins trouvent des variations identiques à celles des 17-cétostéroïdes urinaires, mais avec une avance dans le temps : leur taux commence à s'élever dès la deuxième partie de la nuit. PERKOFF et ses collaborateurs ont confirmé que la production des 17-hydroxycorticoïdes par la surrénale sous l'action de l'A. C. T. H. passe par un minimum au cours de la nuit.

Les dosages hormonaux dans le domaine de l'aéronautique semblent particulièrement intéressants comme moyen de diagnostic précoce de la fatigue de l'aviateur, et comme le dit BUGARD : « l'organisme humain réagit comme un tout aux agressions, et la surrénale ne se préoccupe pas de savoir si elles sont professionnelles ou sentimentales ; le dosage des corticoïdes les objective en bloc par des réponses augmentées dans un premier temps, oscillantes ou déprimées par la suite ». Ainsi, il n'a été constaté aucune modification de l'élimination des 17-cétostéroïdes urinaires tant qu'il s'agissait de vols courts, « sans histoire », mais une augmentation était notée lorsque les vols devenaient difficiles ou avaient lieu en haute altitude.

La médullo-surrénale réagit également lors des états d'agression ou de fatigue et son activité peut être testée par le dosage de l'adrénaline et de la noradrénaline ; une faible partie en est excrétée dans les urines sans modification, à l'état libre ou conjugué, mais la majeure partie est dégradée avant d'être éliminée. Le dosage des catécholamines urinaires apporte des renseignements précieux non pas uniquement sur l'intervention du système autonome dans l'effort musculaire et la fatigue, mais aussi sur la motivation psychologique du sujet. Ces travaux, qui établissent la jonction psychosomatique dans le stress et la fatigue doivent beaucoup à Von Euler. Selon cet auteur, on constate, chez l'homme normal, un taux d'excrétion urinaire de 0,02  $\mu\text{g}$  par minute en ce qui concerne la noradrénaline et de 0,002  $\mu\text{g}$  par minute pour l'adrénaline. VON EULER ayant pratiqué des dosages au cours d'un travail musculaire fatigant trouve un taux augmenté de façon nettement significative : 0,40  $\mu\text{g}$  par minute pour la noradrénaline et 0,10  $\mu\text{g}$  pour l'adrénaline.

Cependant, l'interprétation de ces résultats doit être nuancée, car chez l'homme entraîné, les taux d'excrétion n'augmentent sensiblement que pour un travail important; chez le sujet non entraîné, les catécholamines apparaissent avec la fatigue, même si le travail est moins intense; ainsi, c'est la fatigue plus que l'exercice qui entraîne une augmentation de l'excrétion des catécholamines.

Les travaux de ELMADJIAN (1956) permettent de constater des variations du taux de ces amines pressives en fonction du rythme nycthéméral, leur taux maximum se situant au moment du réveil : l'adrénaline atteint environ cinq fois sa valeur basale et la noradrénaline, deux fois; cette sécrétion accrue se maintient au cours de la journée, contrairement à celle des corticoïdes qui se déprime le soir.

Toutefois, il est permis de penser actuellement que la synthèse de ces amines pressives n'a pas pour siège unique la médullo-surrénale, mais également de nombreux tissus et organes contenant des éléments chromaffines, tels le système nerveux sympathique, le système nerveux central, les poumons, le foie, la rate et la moelle (EYGONNET, 1964).

Cependant, si l'élimination urinaire des catécholamines est significative, le dosage en est très délicat pour plusieurs raisons : l'adrénaline et noradrénaline ne se trouvent qu'en très faible quantité dans les urines, leur taux est susceptible de varier dans de notables proportions sans pour autant dépasser la marge physiologique (GUERRIN, 1963); si les écarts constatés restent minimes, cette marge rend l'interprétation difficile; en outre, des altérations structurales biochimiques et enzymatiques peuvent se produire dans les voies urinaires ou après la miction, avant le dosage lui-même. Il est donc plus aisé de se référer à l'élimination de l'acide vanillyl-mandélique (acide 3 méthoxy 4 hydroxy-mandélique ou V.M.A.), catabolite essentiel des catécholamines, produit stable et plus facilement dosable car excrété en quantité plus importante (5 mg par jour). Le taux d'élimination du V.M.A. rend compte fidèlement de la mise en jeu du système adrénosympathique et subit également des variations au cours du rythme nycthéméral avec un minimum nocturne (VON STUNITZ, LIBOTTE et LECOMTE, 1962).

Les variations lors des différents dosages du V.M.A. rapportées par EYGONNET dans sa thèse sont superposables à celles des catécholamines étudiées par VON EULER (1956) et GUERRIN (1963). En effet, l'augmentation urinaire du V.M.A. n'est appréciable qu'à partir d'un seuil d'exercice minimal (celui-ci variant selon que le sujet est entraîné ou non) et il semble que la vigueur de la riposte médullo-surrénale soit tributaire à la fois de la puissance absolue de l'exercice et de sa résonance psychologique, selon que l'épreuve est jugée aisée, éprouvante ou pénible.

## PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Les différents dosages pratiqués au centre de Saint-Auban au cours du mois de septembre 1966 ont porté sur vingt-deux sujets, soit : douze stagiaires, cinq instructeurs, et cinq sujets témoins au sol. Les stagiaires étaient tous titulaires du brevet de pilote de planeur et pouvaient être considérés comme bien entraînés. Cependant, pour la majeure partie d'entre eux, le stage avait lieu pendant leur mois de congé annuel et aucune période de repos n'était intervenue entre le moment de la cessation de l'activité professionnelle habituelle (en général sédentaire) et le départ pour le centre de vol à voile ; pour certains même, le voyage s'était révélé éprouvant en raison de la distance, du mode de locomotion et du changement climatique. Le bon état physique de ces sujets, que nous avons nous-mêmes contrôlé, était en principe attesté par la validité de leur licence de pilote de planeur dont l'obtention et le renouvellement nécessitent une visite médicale approfondie devant un médecin agréé. Disons enfin que la moyenne d'âge de ces sujets était d'environ vingt-cinq ans.

L'âge moyen des instructeurs était plus élevé, c'est-à-dire entre trente-cinq et quarante ans ; cette différence peut apparaître dans quelques résultats et nous y reviendrons aux chapitres analytiques correspondants. Il faut d'autre part signaler qu'à l'inverse des stagiaires, ces instructeurs venaient de bénéficier de leurs congés annuels, mais « vacances n'est pas synonyme de repos » et afin de profiter de celles-ci au maximum, ils étaient rentrés à Saint-Auban la veille de l'ouverture du stage, souvent après un voyage éprouvant. Les sujets témoins au sol, sans activité aérienne proprement dite, exerçaient leurs occupations professionnelles : menuiserie, mécanique, cuisine.

Tous les dosages pratiqués chez ces différents sujets ont été réalisés sur les urines. Des prélèvements sanguins auraient ajouté un élément de stress supplémentaire ; il importait d'être aussi peu agressif que possible d'autant plus que le recueil des urines de vingt-quatre heures ou après les vols impliquait déjà une contrainte certaine ; c'est ainsi qu'il fallut demander par radiophonie, lors d'un atterrissage en campagne à une quarantaine de kilomètres du terrain, que l'équipage attende l'arrivée des médecins avant d'obéir aux sollicitations d'une miction impérieuse...

Pour les trois groupes de sujets étudiés, les urines ont été recueillies durant trois périodes de vingt-quatre heures situées au début, au milieu et à la fin du stage, ces périodes étant choisies en dehors de toute activité aérienne ou terrestre pénible, fatigante ou stressante. Les dosages ainsi pratiqués ont donné un premier groupe de valeurs dites « basales ».

Les urines ont également été recueillies en d'autres circonstances : au moment de l'atterrissage après certains vols. Les prélèvements ainsi réalisés correspondaient au temps d'excrétion urinaire de la durée du vol et

des quelques minutes lui succédant. Dès l'atterrissage, le sujet était amené directement en voiture jusqu'au laboratoire, le volume urinaire et son temps d'excrétion étaient alors soigneusement notés, ce qui a pu permettre d'exprimer les différents catabolites dosés par leurs débits, le plus souvent rapportés à la minute ou à l'heure.

La nature même des activités en vol mérite d'être précisée : durant les premiers jours du stage, tous les élèves ont effectué des vols de contrôle avec leurs moniteurs attitrés sur planeur biplace Bijave WA 30. Ensuite, leur programme comportait l'alternance de vols en solo et de séances de perfectionnement sur les mêmes biplaces. Progressivement, dans l'un et l'autre cas, des vols en montagne de plus en plus difficiles étaient réalisés, le but pédagogique était de permettre, après quelques semaines d'entraînement, l'accomplissement de circuits dans les régions montagneuses limitrophes. Les vols seuls ont comporté l'utilisation de la plus grande partie des planeurs monoplaces du Centre, de difficultés de pilotage équivalentes (Javelot WA 20, Mésange M 100, Arsenal Air 100). Un seul pilote expérimenté a réalisé quelques vols sur planeur de haute performance SIREN « Edelweiss », à pilotage semi-couché ; nous avons négligé ce cas particulier dans l'exploitation de nos résultats.

Un dossier, constitué pour chaque sujet, comportait outre les éléments recueillis lors des dosages des différents catabolites, les résultats d'une enquête comportant une étude des antécédents et des causes possibles de fatigue extérieures à l'activité aérienne. Un certain nombre d'informations étaient en outre notées afin de permettre lors du dépouillement des résultats d'établir d'éventuelles corrélations. Les sujets ont ainsi dû remplir un questionnaire en début de stage et plusieurs autres au retour de chacun de leurs vols. Leur analyse nous a permis de nous rendre compte des conditions techniques de déroulement de chacun des vols et de leur agressivité physique et psychique. Ces questionnaires nous permettaient d'aborder des éléments de caractère purement subjectif : l'impression de fatigue ressentie par les stagiaires lors du vol, les avis de chaque instructeur sur la stabilité émotionnelle et l'aptitude de chacun de leurs élèves. Les facteurs météorologiques et alimentaires étaient enfin notés.

## CHOIX DES MÉTHODES — TECHNIQUES

Ainsi que nous l'avons précédemment signalé, tous nos dosages ont été pratiqués sur les urines ; certaines analyses ont été réalisées dans un laboratoire aménagé dans les locaux mêmes du Centre de vol à voile :

- réaction de Donaggio,
- dosage des 17 hydroxy-stéroïdes urinaires,
- mesure de la créatininurie,
- recherche par papiers réactifs du pH et de l'albuminurie.

D'autres dosages ont été pratiqués à distance, sur des échantillons d'urine transportés en glacière après ajustement au pH acide convenable :

- catécholamines totales,
- adrénaline,
- noradrénaline,
- acide vanillyl-mandélique,

ont été dosés par les soins du Laboratoire de Physiologie de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Dijon (Professeur J. KLEPPING).

- le dosage des 17 céto-stéroïdes par le Laboratoire de Chimie biologique du Centre Hospitalier Universitaire de Nancy (Professeur P. PAYSANT).

Le choix d'une telle « batterie » de tests biochimiques a été motivé par notre double souci d'explorer à la fois la fatigue « locale », musculaire, et la fatigue générale, comportant la mise en jeu de tout l'appareil neuro-endocrinien. Les méthodes proposées pour répondre à notre première préoccupation, réaction de Donaggio et mesure de la créatininurie, avaient l'avantage d'être de réalisation facile, immédiate (elles ont été pratiquées à Saint-Auban). Le dosage de la créatininurie présentait en outre l'intérêt de fournir un contrôle de la quantité des urines recueillies par nos sujets, ce métabolite ayant une excrétion — au moins au repos — proportionnelle aux coordonnées morphologiques, c'est-à-dire à la surface corporelle.

Nous pensons, d'un autre côté, avoir réalisé une exploration relativement complète des fonctions surrénaliennes, au moins en ce qui concerne la partie médullaire de cette glande (adrénaline, noradrénaline, V.M.A.). La mesure de l'excrétion des 17 céto-stéroïdes et 17 OH-stéroïdes ne représente évidemment que partiellement l'activité du cortex surrénal. Aussi avons-nous un moment songé à pratiquer des dosages d'aldostérone, dont la réalisation se fait couramment au Laboratoire de Physiologie de Nancy. Mais la complexité et la durée de ce dosage, la nécessité du recueil et du transport de quantités d'urines de nycthémères entiers nous y ont fait renoncer. D'autre part, une telle exploration aurait davantage été en rapport avec l'agression climatique et le régime hydro-sodé, plutôt que le reflet de la pratique du vol à voile proprement dite, avec ses fortes composantes émotionnelles.

Envisageons maintenant plus en détail les techniques des recherches ou dosages que nous avons retenus et pratiqués :

### Réaction de DONAGGIO

La réaction de Donaggio caractérise la présence dans l'urine d'une mucoprotéine qui empêche la précipitation de la thionine par le molyb-

date d'ammonium. La mucoprotéinurie, faible chez le sujet normal, est augmentée dans les états de fatigue, à tel point qu'on a fait de ce test « une réaction de fatigue ». En fait, témoin d'un état inflammatoire et de la dépolymérisation de la substance fondamentale du conjonctif, la mucoprotéinurie n'est absolument pas spécifique et on la trouve dans un très grand nombre d'états pathologiques : maladies infectieuses, rhumatismales, métaboliques, etc... Au cours de la fatigue, elle est en général le reflet d'un exercice musculaire exagéré amenant aux limites de l'épuisement physique.

Nous avons utilisé la technique simplifiée à deux tubes décrite par G. ROUGIER et ALLARD, après avoir essayé également la méthode de FALET, puis celle de TAYEAU. Cette dernière, beaucoup plus précise, puisque quantitative, avait l'inconvénient d'être de réalisation plus délicate, tandis que la méthode simplifiée à deux tubes, plus grossière, était malgré tout suffisante pour nos besoins avec sa cotation allant de 0 (fatigue nulle) à 10 ou 12 (fatigue intense).

### **Mesure de la créatininurie**

L'intervention de créatine dans les phosphorylations contemporaines de la contraction musculaire permet de penser qu'une relation peut être faite entre la créatininurie et l'intensité de l'exercice ou de la fatigue musculaire. En fait, sans que l'on puisse attribuer à une telle relation une valeur diagnostique, il est possible de considérer, avec BUGARD, le taux urinaire de la créatinine comme reflétant le catabolisme musculaire lié à la contraction et à la fatigue aiguë. La créatinine a été dosée selon la technique de JAFFÉ, qui est basée sur la coloration développée par la mise en présence de ce catabolite et d'un picrate alcalin. La spécificité de cette réaction est parfois mise en doute au niveau du plasma en raison de la présence de nombreux chromogènes ; par contre, le dosage urinaire de ce catabolite par la méthode de JAFFÉ n'est l'objet que d'exceptionnelles critiques.

### **Dosage des 17-hydroxystéroïdes urinaires**

Celui-ci a été pratiqué selon la méthode de SCHOLLER-BUSIGNY-JAYLE, qui est elle-même une variante de la technique de SILBER-PORTER. L'hydrolyse se fait par mise en présence pendant 18 heures à 37° C de diastases du suc d'*Helix pomatia*. On extrait ensuite au chloroforme, puis on lave avec de la soude diluée. L'extraction d'un aliquote de l'extrait chloroformique par le réactif phénylhydrazine sulfurique éthanol (P.S.E.) est alors réalisée. La lecture se fait au spectrophotomètre par mesure de la densité optique après chauffage des échantillons à 60 ° C pendant 30 minutes.

### **Dosage des 17-cétostéroïdes urinaires**

La méthode employée a été celle de DREKTER, revue par JAYLE. L'hydrolyse se fait en milieu chorhydrique à chaud ; l'extraction est réa-

lisée grâce au dichlorométhane. On pratique alors une purification par la soude. La coloration (ZIMMERMANN) s'obtient par adjonction de métadinitrobenzène (M.D.B.) en solution alcoolique, puis de potasse. La lecture se pratique après passage durant cinq minutes dans un bain-marie de 35° C, puis adjonction d'éther froid.

### **Catécholamines, adrénaline, noradrénaline**

Le dosage des catécholamines a été réalisé selon la méthode de GEORGES et SAVEL. L'adsorption se fait en présence d'une solution d'E. D. T. A. et d'alumine tout en ajustant le pH à 8,4 par addition d'éthylène diamine. Après avoir laissé l'alumine se décanter et après lavage, on pratique l'éluion à l'aide d'acide acétique. Enfin a lieu l'oxydation produisant les composés fluorescents sous l'action conjuguée du ferricyanure de potassium et de l'acide ascorbique à pH 6,5. La lecture se fait au fluorimètre avec deux systèmes différents de filtres primaires et secondaires permettant d'exciter préférentiellement la fluorescence du dérivé trihydroxyindole de l'adrénaline en un premier temps, de la noradrénaline dans un deuxième temps. Le calcul permet ensuite de déterminer les proportions respectives de l'adrénaline et de la noradrénaline dans l'échantillon (PEYRIN, CIER, FLANDROIS, 1964).

### **Acide vanillyl-mandélique**

Le V.M.A. a été dosé selon la technique de SANDLER et RUTHVEN ; celle-ci consiste en une extraction sur résine échangeuse d'ions — à pH contrôlé — suivie d'un isolement par l'acétate d'éthyle, puis d'une transformation en vanilline par chauffage en milieu sulfurique dilué et en présence d'un catalyseur de décarboxylation. La vanilline est dosée grâce à sa réaction colorée avec l'indole en présence d'acide orthophosphorique.

## **RÉSULTATS**

Nous exposerons, comme nous l'avons déjà fait lors du précédent chapitre consacré à l'étude des techniques, nos divers résultats en analysant tout d'abord ceux qui se rapportent à une éventuelle fatigue musculaire (test de DONAGGIO, créatininurie) et ensuite ceux témoignant d'une fatigue endocrinienne (dosage des hormones surrénaliennes).

En ce qui concerne la réaction de DONAGGIO, conformément à notre attente, nous n'avons rencontré que peu de réactions positives : la fatigue physique, au cours du vol à voile, n'est manifestement pas de nature à entraîner un syndrome inflammatoire.

Dans quelques cas cependant, des positivités allant de 1 à 8 ont été observées, principalement en début de stage, attestant peut-être la fatigue du voyage et des modifications climatiques. Chez un sujet, la réaction de DONAGGIO a été positive (8) au milieu du stage, et notamment lors d'un vol en monoplace de plus de sept heures, après lequel une épreuve

de LIAN (course sur place durant une minute) a déclenché une syncope ; cependant aucun des dosages hormonaux pratiqués par ailleurs n'a montré d'anomalie par rapport aux autres vols, alors que le sujet s'estimait fatigué, et que les tests psychomoteurs montraient des signes évidents de fatigue nerveuse. Un des stagiaires a présenté pendant tout le stage une réaction de DONAGGIO positive au maximum : ce sujet présentait une rhino-pharyngite traînante et la mucoprotéinurie ne pouvait être interprétée comme un signe de fatigue ; comme nous l'indiquera le résultat du dosage des 17-OH-corticoïdes, ce garçon présentait, en plus de son syndrome inflammatoire, un état de fatigue évident.

Nous avons établi les valeurs moyennes de l'excrétion urinaire de la créatinine et des hormones surrénales pour les dosages de base et les valeurs « aiguës » en éliminant les valeurs extrêmes, trop basses, et dues manifestement à une erreur dans le prélèvement des urines.

Une courbe a été établie, concernant les valeurs de base unissant les taux déterminés au début, au milieu, et à la fin du stage, pour les stagiaires, les instructeurs, et le personnel au sol.

Les moyennes totales des vols ont été portées, arbitrairement, sur l'ordonnée correspondant au milieu du stage, pour les instructeurs d'une part, les stagiaires d'autre part, en dissociant, lorsque cela était possible, les vols en double commande et en monoplace pour les stagiaires, en planeur avec élève et en avion de remorquage pour les instructeurs.

De même, ont été portées sur l'ordonnée marquant le milieu de chaque moitié du stage les mêmes moyennes, mais comportant uniquement les vols de la moitié correspondante de la période.

Ainsi les valeurs « aiguës » sont figurées sur trois colonnes verticales qui correspondent, non pas à une évolution chronologique, mais à des moyennes totales d'une part, partielles d'autre part.

A priori, l'effort musculaire du vol à voile est modéré, aussi avons-nous été assez étonnés de constater l'accroissement de la créatininurie de nos pilotes stagiaires, en particulier lors des vols en double commande. Mais il faut remarquer que les planeurs biplaces sont plus lourds et le maniement de leurs commandes est obligatoirement plus fatigant, au point de vue musculaire, que celui d'un monoplace. De plus, le vol solo est généralement « décontracté », alors que l'élève en double commande doit effectuer, sous les ordres de son instructeur, des évolutions plus précises et plus rapides qu'il ne se les serait sans doute imposées spontanément.

Enfin, l'attitude émotionnelle qui en résulte peut aboutir à un certain état de crispation sur le manche (un élève nerveux crispe souvent sa main gauche sur la poignée des aérofreins, pour lui trouver une attitude occupationnelle). Cependant, même au cours des vols en solo, la créati-

ninurie dépasse sensiblement les valeurs basales et semble rendre compte, lors de ces vols, d'une activité musculaire accrue.

On remarque que, pour les instructeurs, les vols de remorquage entraînent une augmentation considérable de la créatininurie, qui répond aux conditions du pilotage d'avions de type ancien (vibrations importantes) et dont le maniement des commandes nécessite un certain effort. Cependant, là aussi, et ce fait est surprenant, les vols en planeur s'accompagnent d'une créatininurie notablement supérieure aux valeurs basales.

Il faut enfin souligner que, dans la deuxième moitié du stage, les valeurs trouvées lors des vols se groupent singulièrement au voisinage des valeurs basales. Sans doute faut-il voir là l'effet d'une adaptation, d'un entraînement, tant physique que psychologique : les valeurs correspondant aux vols en solo ou avec instructeur sont en effet très proches les unes des autres.

Tous les vols augmentent le taux d'élimination des 17-hydroxystéroïdes (17-OH) chez les stagiaires, par rapport aux valeurs basales. D'une part, l'agression émotionnelle sollicite le cortex surrénal, d'autre part, à un titre plus accessoire, l'effort musculaire mis en jeu contribue à la mobilisation des gluco-corticoïdes.

Durant la première partie du stage, l'élimination des 17-OH a été plus forte au cours de vols en monoplace qu'en double commande, et ce fait s'explique aisément : la tension psychique et émotionnelle d'un vol en solo est sans doute plus grande qu'avec un instructeur. Ce fait pourtant n'est pas vérifié dans la seconde partie du stage où l'élimination des 17-OH est plus faible pour les vols en solo. Il est possible qu'à ce moment les stagiaires adaptés et entraînés craignent moins la responsabilité d'un vol en monoplace que les contraintes imposées par leur moniteur.

On remarquera qu'il en est des valeurs de 17-OH comme des taux de créatinine qui se rapprochent des valeurs basales dans la seconde partie du stage, témoignant aussi d'un phénomène d'adaptation. La diminution progressive des taux d'excrétion de ces métabolites, du début à la fin du stage, n'atteint pas des proportions telles qu'on puisse parler de fatigue. Tout se passe au contraire comme si tous les sujets acquéraient au cours de ce stage un état d'entraînement extrêmement satisfaisant.

Une exception cependant est à signaler : l'un des stagiaires, celui-là même chez qui la réaction de DONAGGIO a été toujours positive, présentait à la fin du stage une élimination de 17-OH de 1,88 mg/24 heures. Il s'agissait donc ici certainement d'un état de fatigue, qui d'ailleurs ne s'est jamais manifesté cliniquement, et n'a pas été non plus détecté par l'instructeur responsable de ce jeune pilote.

Compte tenu des valeurs basales légèrement supérieures à celles des

stagiaires, les taux d'élimination des 17-OH des instructeurs ont subi les mêmes modifications durant les vols, avec un peu plus d'amplitude cependant.

L'exercice musculaire entraîne peu de modifications de l'excrétion des 17-cétostéroïdes. Celle-ci est par contre diminuée lors de la fatigue mais peut être également augmentée lorsqu'aux causes de fatigue s'ajoute un stress émotionnel.

Ceci peut expliquer que les valeurs basales d'excrétion des 17-cétostéroïdes soient plus faibles à la fin qu'au début du stage (dans une proportion plus sensible que pour les 17-OH), et que les vols entraînent des éliminations très supérieures aux valeurs basales.

La participation émotionnelle est évidente si l'on compare les taux beaucoup plus élevés des vols en monoplace. On voit également ici, en fin de stage, des valeurs aiguës se rapprocher des valeurs basales du fait d'un phénomène d'adaptation déjà noté.

Il est surprenant de voir l'importante élimination des 17-cétostéroïdes observée chez les instructeurs, au cours des vols de la première partie du stage, alors qu'elle revient très près des valeurs basales pour la seconde moitié. Le début de stage ayant suivi immédiatement le mois de congé annuel du personnel du Centre, il est possible que les premiers vols des instructeurs aient entraîné une réponse cortico-surrénale plus importante, et que l'entraînement, du fait de l'habitude et de l'expérience professionnelle, ait été suffisamment rapide pour ramener l'élimination à des valeurs satisfaisantes, en quelques semaines.

Les dosages des catécholamines et du V.M.A. nous ont permis de déduire certaines corrélations intéressantes : les valeurs basales sont légèrement plus élevées au début du stage et diminuent ensuite chez les stagiaires et surtout chez les instructeurs, tandis qu'elles sont stables chez les témoins au sol. L'élévation porte uniquement sur la noradrénaline.

Or, l'élévation de la noradrénaline peut être considérée comme représentative d'un état émotionnel « de caractère actif » (BUGARD) tandis que l'augmentation de l'adrénaline correspond plutôt à l'anxiété passive. Les taux élevés des valeurs basales du début du stage correspondent vraisemblablement à l'état de tension émotionnelle dû à la mise en route, à l'organisation du stage pour les instructeurs, à l'appréhension, aux facteurs sociologiques (vie en communauté, relations humaines nouvelles) pour les stagiaires, et à l'agression climatique.

Les vols augmentent de façon très significative l'élimination des catécholamines totales (C.T.), et ceci s'explique aisément, de même que les taux légèrement supérieurs des vols en monoplace par rapport aux vols en double commande, principalement au début du stage. Compte tenu

de la diminution des valeurs basales, il est difficile ici d'interpréter comme un phénomène d'adaptation l'excrétion plus faible des C.T. au cours des vols de la deuxième partie du stage, chez les stagiaires. Il est intéressant de constater que cette augmentation des C.T. au cours des vols porte exclusivement sur l'adrénaline au début du stage, sur la noradrénaline dans la seconde partie.

Il faut peut-être voir dans cette évolution la différence de psychologie du stagiaire au long de la période considérée : anxieux et dominé au début par les problèmes d'environnement et de pilotage, plus « agressif », plus audacieux ensuite, une fois surmontées les appréhensions, les doutes, les incertitudes des premiers jours.

Chez les instructeurs, les variations se font dans le même sens (nous n'avons pas figuré sur le schéma les taux d'adrénaline, qui nous semblent peu significatifs). La fin du stage est marquée par un accroissement considérable des taux d'excrétion des C.T. et de la noradrénaline, qui semble surtout concerner les vols en planeur avec élève, alors que dans le même temps les valeurs d'excrétion pour les stagiaires diminuaient ou restaient stables.

L'explication d'une telle observation s'avère délicate : il est possible que ce fait soit le reflet du désir des instructeurs de pousser à fond les performances de leurs élèves, sur des circuits prolongés ou dans des conditions difficiles, ce qui apparaissait très nettement aux yeux des observateurs qui constituaient l'équipe de recherche médicale.

## COMMENTAIRES

Nous soumettrons tout d'abord notre expérimentation à un certain nombre de critiques, mais leurs conséquences ne nous paraissent avoir qu'une portée limitée sur la validité de nos constatations : les dosages « aigus » réalisés après les vols sur la diurèse de quelques heures, généralement l'après-midi, auraient dû bénéficier d'un temps de prélèvement prolongé au-delà de la fin de l'exercice, afin d'attendre l'apparition des catabolites hormonaux dont l'élimination n'est pas obligatoirement immédiate. D'autre part, la comparaison des valeurs obtenues aurait dû être faite avec des données de base ayant porté sur une période de quelques heures située au même stade du nyctémère (l'après-midi) car le recueil sur vingt-quatre heures fait nécessairement intervenir les variations d'excrétion liées en particulier au repos nocturne. Cependant, pour les principales substances hormonales dosées, cet obstacle à l'interprétation des résultats est atténué par le fait que les recueils « aigus » faits en fin d'après-midi correspondent à la période d'excrétion moyenne.

Sauf pour un sujet ayant présenté un état pathologique intercurrent, il n'est donc pas apparu d'état de fatigue, ni pour les stagiaires, ni pour les instructeurs, au sens biologique du terme.

Les modifications dans l'élimination des hormones cortico- et médullo-surrénaliennes sont particulièrement intéressantes. Le vol en planeur constitue manifestement un stress dans lequel la composante émotionnelle est prépondérante. Mais des variations apparaissent, selon que le vol est effectué avec un instructeur ou au contraire seul. Le vol en monoplace augmente la sécrétion des 17-cétostéroïdes de façon très significative, celle des 17-hydroxystéroïdes avec une moindre amplitude, et ceci rend bien compte de l'importance du facteur psychologique. Cependant, la participation musculaire n'est pas négligeable ; on en a vu les modalités différentes chez l'instructeur et l'élève, et selon le type de vol, et la traduction sur l'élimination des 17 hydroxy-corticoïdes et de la créatinine.

La créatinine, de même que les hormones cortico-surrénales, attestent par les variations de leurs taux d'élimination au cours du stage de l'acquisition d'un état d'entraînement physique et psychologique. Ces résultats sont en conformité avec ceux des auteurs qui ont étudié les problèmes de fatigue en médecine sous leur aspect endocrinien.

En ce qui concerne l'acide vanillyl mandélique (V.M.A.), les valeurs d'excrétion basales sont stables, et leur faible augmentation lors des vols chez les stagiaires ne suit pas l'évolution du taux de catécholamines totales, différant en ceci des résultats d'EYGONNET, chez les pilotes d'avions à réaction.

Par contre, pour des valeurs basales identiques, les taux du V.M.A. urinaire chez les instructeurs sont considérablement augmentés, au cours des vols de la première partie du stage, alors qu'ils reviennent à la normale ensuite. Cette augmentation semble conforme à celle des catécholamines totales. Par contre, les faibles taux à la fin du stage, alors que les valeurs des catécholamines totales et de la noradrénaline restent élevées, paraissent difficiles à interpréter.

L'élévation des catécholamines est, elle aussi, significative, et les variations relatives des taux d'adrénaline et de noradrénaline semblent rendre compte des variations dans la psychologie des pilotes au long du stage, qu'il s'agisse d'activités au sol ou en vol.

La faible modification des taux du V.M.A. chez les stagiaires peut surprendre, surtout si on la compare à l'élimination élevée présentée par les instructeurs au début du stage et à celle de deux des médecins de l'équipe de recherche, non entraînés, lesquels ont présenté au cours d'un vol une élimination de V.M.A. qui dépassait le double de l'excrétion basale.

Dans les conditions de déroulement de ce stage de vol à voile, présentant il est vrai un certain nombre de facteurs favorables tels que le caractère tempéré du climat saisonnier, ou le nombre restreint des pilotes, nous n'avons donc pas observé d'état de fatigue chronique, alors même que chacun des vols aboutissait au développement d'un état de

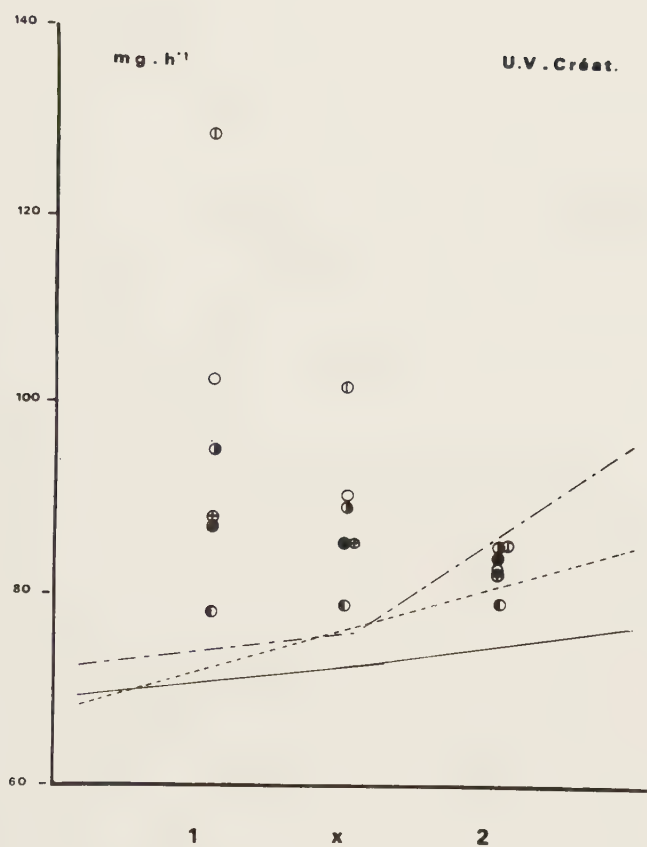


Figure 1 : Excrétion urinaire de Créatinine

## LEGENDE

Légende applicable aux graphiques de la page précédente  
et des pages suivantes :

En abscisse : Chronologie des prélèvements correspondant aux  
valeurs basales ( Début : D , Milieu : M , Fin : F  
du stage )

Moyenne des valeurs après les vols pour la  
première ( 1 ), la seconde ( 2 ) partie du stage,  
et sa totalité (  $\bar{x}$  )

En ordonnée : Débit urinaire du catabolite excrété

L'évolution des valeurs basales est indiquée :

- par une ligne continue pour les pilotes stagiaires
- par une ligne traits-points pour les instructeurs
- par une ligne pointillée pour les sujets témoins

Les valeurs après les vols :

- par des cercles pleins pour les pilotes stagiaires .  
( pour les vols en monoplace :  
cercles évidés dans leur moitié droite )  
( pour les vols en double-commande :  
cercles évidés dans leur moitié gauche )
- par des cercles évidés pour les instructeurs  
( pour les vols de remorquage :  
cercles barrés verticalement )  
( pour les vols sur planeur :  
cercles avec barres cruciformes )

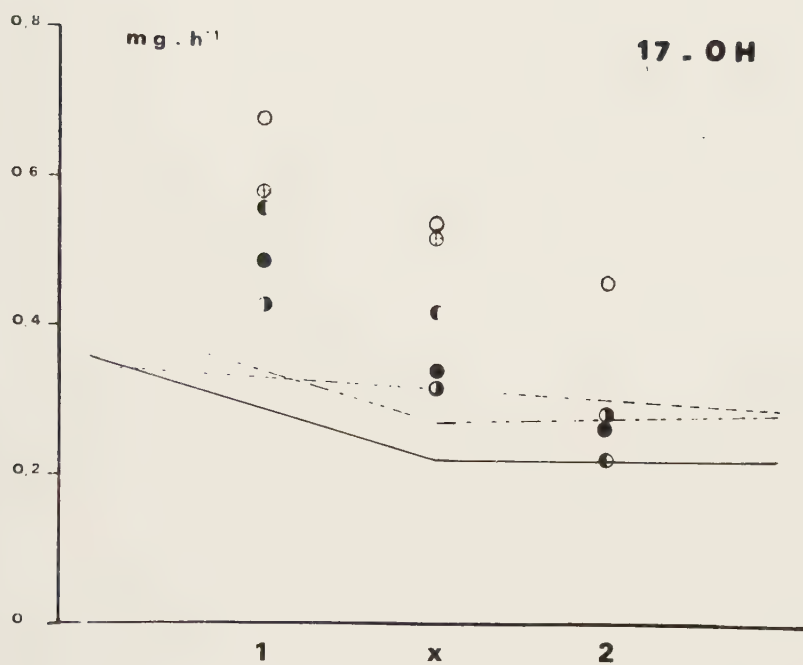


Figure 2 : Excrétion urinaire de 17 - Hydroxystéroïdes

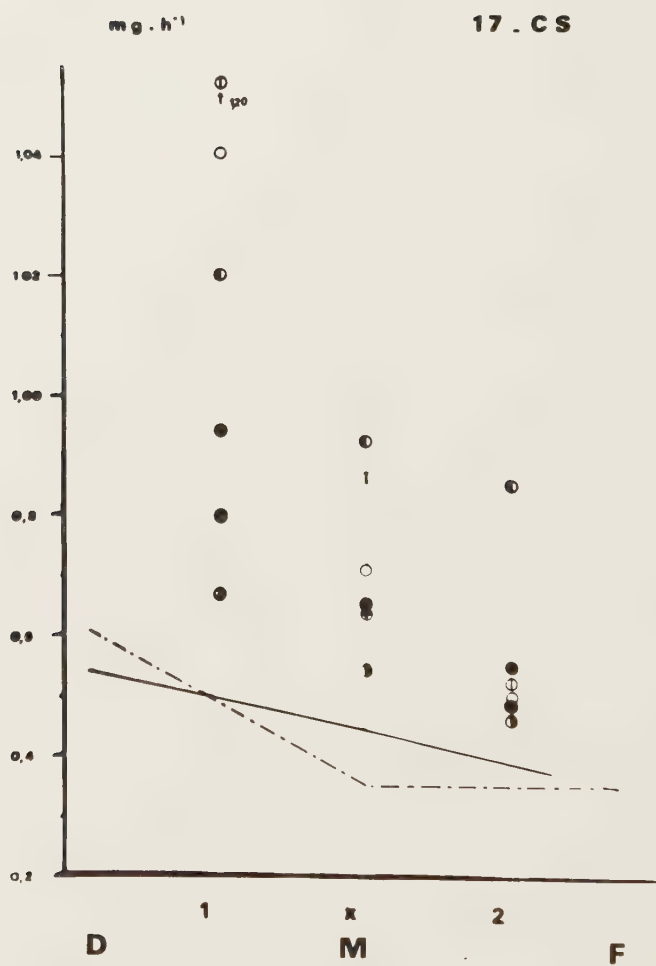


Figure 3 : Excrétion urinaire de 17 - Cétostéroïdes

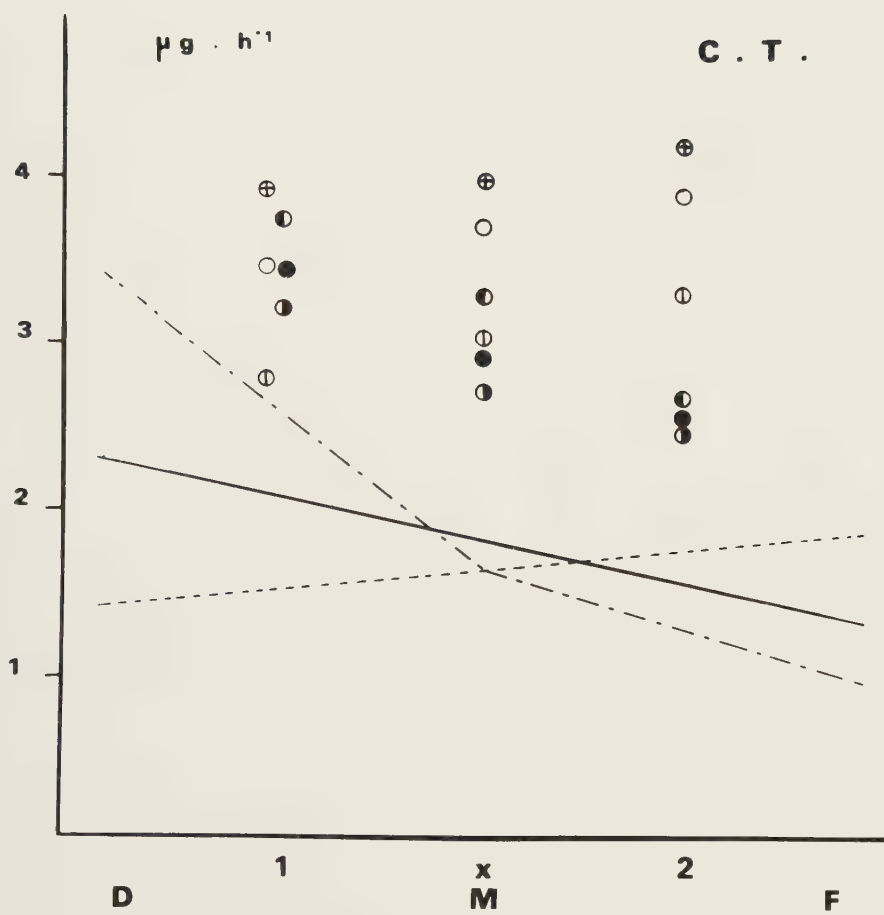


Figure 4 : Excrétion urinaire des Catécholamines totales

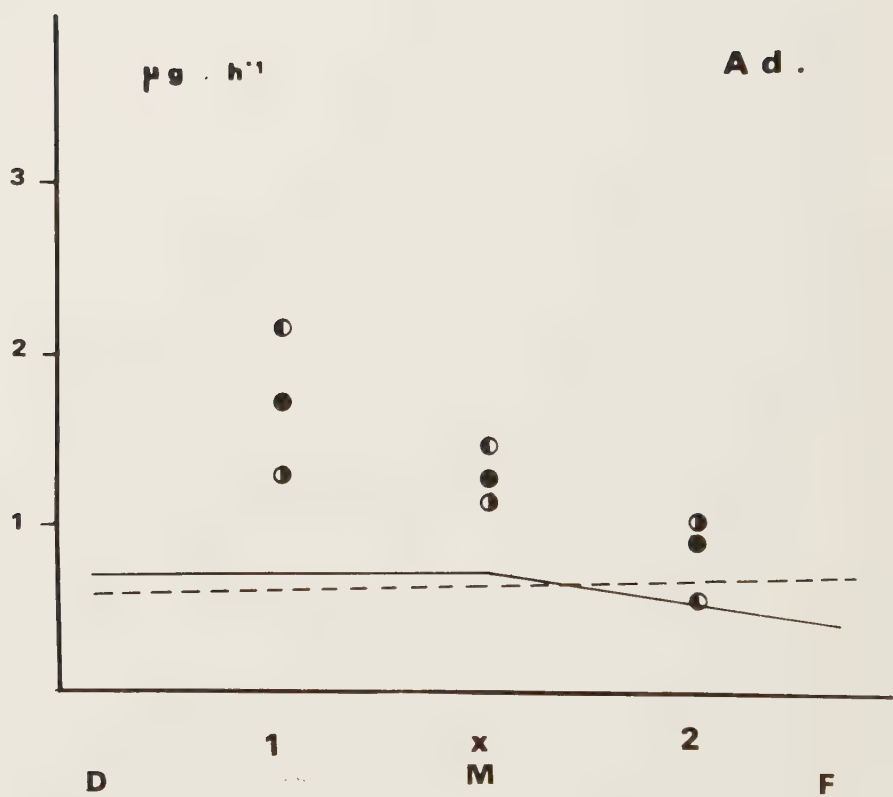


Figure 5 : Excrétion urinaire d'Adrénaline

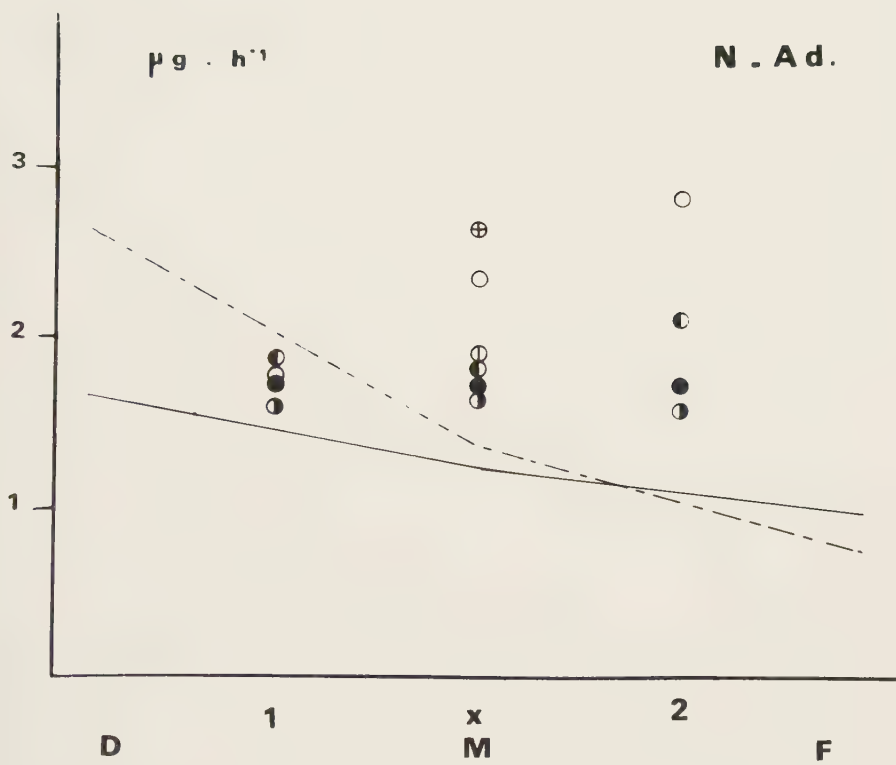


Figure 6 : Excrétion urinaire de Nor-Adrénaline

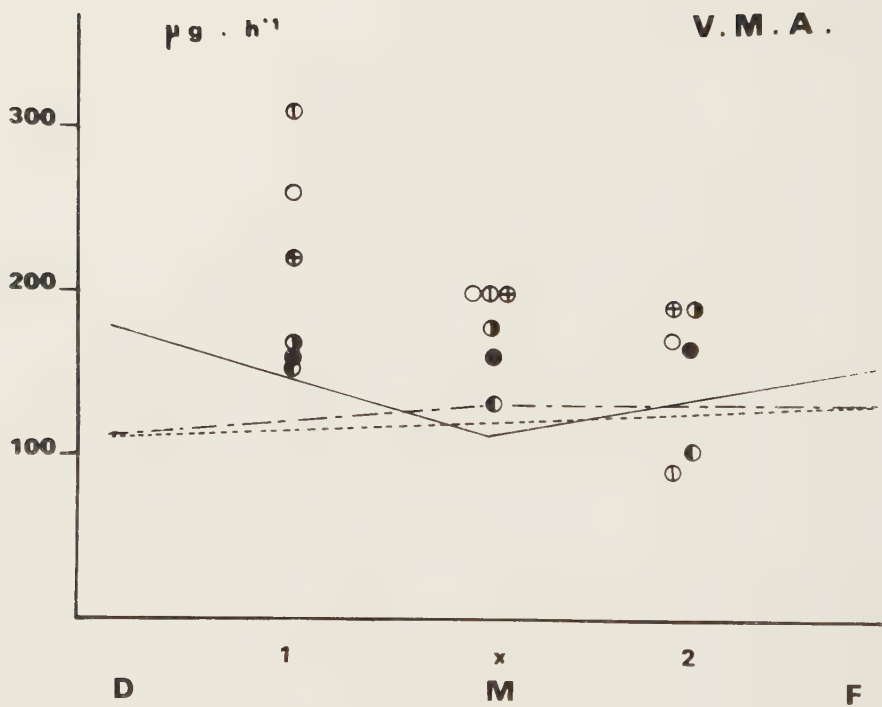


Figure 7 : Excrétion urinaire de l'Acide vanillyl-mandélique

fatigue aiguë particulièrement bien mis en évidence grâce à l'analyse de certaines sécrétions endocrines. Nous avons au contraire constaté l'apparition d'un entraînement portant à la fois sur les capacités physiques et les composantes émotionnelles mises en jeu lors de cette activité sportive et aéronautique que constitue le vol à voile.



### CHAPITRE III

---

## Étude du comportement cardio-vasculaire



## ÉTUDE DU COMPORTEMENT CARDIO-VASCULAIRE

### LES ÉPREUVES D'APTITUDE FONCTIONNELLE CARDIAQUE

Les épreuves dites « d'aptitude fonctionnelle cardiaque », de pratique courante dans le domaine du contrôle médico-sportif, se sont révélées un moyen précieux permettant d'évaluer l'aptitude physique d'un sujet, d'apprécier son degré d'entraînement ou de déceler une fatigue naissante. Ces épreuves, qui constituent un critère d'ordre dynamique, sont représentées par des « tests » différents mais dont le déroulement et les modalités d'interprétation sont sensiblement identiques. L'exercice doit être réalisé en un temps et selon un rythme donnés, et représenter un travail comparable chez tous les individus. Il est important que l'épreuve choisie soit correctement exécutée et que le protocole soit rigoureusement suivi par tous les sujets testés.

Deux éléments sont ainsi explorés : l'état de l'appareil cardio-vasculaire d'une part, la possibilité d'adaptation à un travail donné d'autre part ; dans les milieux médico-sportifs, ces épreuves sont surtout utilisées pour évaluer l'aptitude d'un sujet à affronter un travail précis, à savoir celui qui lui sera imposé lors des épreuves sportives auxquelles il désire participer. Mais elles sont aussi appliquées à la surveillance de l'entraînement subi par le sujet ; les tests étant pratiqués de façon répétée : toute détérioration des résultats signifie un état de méforme (ou une perte de forme), dont l'origine doit être recherchée dans un état de fatigue naissant ou dans un entraînement inadapté aux possibilités du sujet. De plus, ces épreuves ont l'avantage de signaler cette baisse de forme avant même que le sujet ne la ressente subjectivement.

N'importe quel type d'exercice peut être choisi pourvu qu'il nécessite la mise en jeu d'une masse musculaire suffisamment importante susceptible d'engendrer des réactions générales au niveau des sphères circulatoire et respiratoire. Ainsi peut-on demander au sujet de courir sur place, monter sur une chaise, monter un escalier, courir une certaine distance, etc... A l'exception du « step-test », ces épreuves sont généralement courtes et ne dépassent pas une minute. H. CHRISTENSEN fait à ces

épreuves courtes une objection sérieuse : les phénomènes chimiques du travail musculaire exécuté lors de ces épreuves sont pratiquement anaérobies, les phénomènes oxydants n'atteignant leur pleine intensité qu'au bout de plusieurs minutes. En fait, cette objection ne serait valable que si l'épreuve tenait compte de l'évolution de la consommation d'oxygène ou de celle de la ventilation pulmonaire. L'expérience prouve que, pour la sélection et la surveillance des athlètes, les épreuves de courte durée (40 secondes pour l'épreuve de MARTINET) donnent des conclusions excellentes, et que, non seulement les résultats obtenus chez un même sujet soumis à différentes épreuves (MARTINET, LIAN, SCHNEIDER, FLACK) sont comparables entre eux, mais qu'ils sont comparables à ceux d'épreuves plus longues (CHAILLEY-BERT, PLAS, 1956).

Quelles qu'elles soient, toutes ces épreuves qui, depuis VAQUEZ, ont été proposées, et ont connu des fortunes diverses, reposent sur le même principe : établir le bilan vasculaire d'un cœur au repos en chronométrant le pouls et en mesurant la tension artérielle ; puis, après un exercice déterminé, établir un nouveau bilan de minute en minute et mesurer l'ampleur des variations ainsi que la durée du temps de retour au calme. Il est assez banal de rencontrer un pincement de la différentielle chez des sujets dont l'appareil cardio-pulmonaire est sain, mais qui sont fatigués. Une des premières réactions cardio-vasculaires de la fatigue est une élévation de la minimale, quelquefois avec hausse de la maximale, ce qui ne change pas, ou ne diminue que légèrement la différentielle. L'autre notion, celle de la durée du retour au calme, est une notion essentielle de pathologie générale, la durée de la variation étant bien plus importante que la variation elle-même. Le temps de retour à la normale est nécessaire à la liquidation de la dette d'oxygène contractée par l'organisme pour un travail donné, mais aussi à l'élimination des déchets, si l'exercice est considérable et prolongé : ceci est démontré dans les observations de médecine sportive : la durée de retour au calme pour un « 100 mètres » est de 10 à 15 minutes ; pour un « 400 mètres » elle est de 8 à 12 heures (BOIGEY).

La durée de retour à la normale gardera donc toute sa signification cardiologique si l'épreuve est suffisamment intense pour annihiler le coefficient émotif. D'autre part, le test ne doit pas déclencher des variations biologiques dont la liquidation excède de loin la simple compensation de la dette en oxygène.

En définitive, les épreuves fonctionnelles actuelles ne peuvent avoir qu'une valeur comparative entre l'état de repos et l'état de travail ou entre les résultats obtenus chez le sujet examiné et la moyenne des sujets observés.

## PROTOCOLE — CHOIX DES MÉTHODES

Nous avons adopté, lors de cette étude du comportement cardio-vasculaire, un protocole identique à celui déjà exposé lors de l'étude

biochimique et endocrinienne. Ainsi avons-nous obtenu des valeurs « basales » lors des tests pratiqués au début, au milieu et à la fin du stage en dehors de toute activité pénible, et des valeurs « aiguës » après certains vols.

Il était inutile, voire néfaste, d'imposer aux sujets examinés une série complète d'épreuves d'aptitude fonctionnelle cardiaque, d'une part parce que tous ces tests conduisent en général à des résultats superposables, d'autre part parce que, répétés, ils auraient été eux-mêmes une source de fatigue. Nous n'avons ainsi retenu que deux tests : ceux de FLACK et de LIAN, de réalisation aisée et facilement reproductibles d'un sujet à l'autre.

Cette étude cardio-vasculaire a été complétée par la prise du pouls et de la tension artérielle, en décubitus puis en position debout, et par l'enregistrement d'électrocardiogrammes dans les dérivations périphériques, unipolaires des membres et précordiales usuelles.

### **Le test de FLACK**

Encore appelé « endurance test » ou « test des quarante millimètres de mercure », il fut décrit pour la première fois par son auteur, Martin FLACK, en 1919, dans un article du « Lancet ». Quoique déjà utilisé en 1937 par PERRIN (Bordeaux), il était pratiquement ignoré en France jusqu'au travail de GUILLAUME (Nancy, 1946) inspiré par L. MERKLEN. Il est actuellement largement usité ; son emploi est systématique dans les centres d'examen du personnel navigant des aéronautiques civile et militaire françaises.

L'appareil utilisé se compose d'un tube de verre en « U » fixé sur une planchette, dont le diamètre intérieur est calibré à 4 millimètres, et qui contient de ce fait une faible quantité de mercure. Le sujet effectue tout d'abord une expiration forcée puis une inspiration lente et continue (afin d'éviter une tachycardie immédiatement avant le test) ; il souffle alors dans un embout relié à l'une des branches du tube et fait ainsi monter le mercure jusqu'à une dénivellation de 40 millimètres (un repère est distinctement marqué sur l'échelle graduée située le long du tube). Le sujet maintient alors ce niveau très exactement jusqu'à la limite de ses possibilités sans reprendre son souffle. Primitivement, pour éviter toute expiration par le nez, on obstruait les narines par un clip nasal ; à l'usage, celui-ci s'est révélé désagréable et inutile ; il suffit en fait d'expliquer clairement au sujet ce que l'on attend de lui.

L'interprétation repose sur deux éléments : le temps durant lequel est maintenue la dénivellation de 40 millimètres, et les modifications du rythme cardiaque observées pendant et après l'épreuve. Si la durée de l'apnée est inférieure à 40 secondes, le test n'est pas jugé satisfaisant (les centres de sélection de la R.A.F. exigeaient dès 1945 un minimum de 50 secondes). Ici intervient donc une autre composante non négligeable : la volonté du sujet ; certains vont jusqu'à la limite de leurs possibilités, d'autres s'arrêtent lorsqu'ils sentent l'épreuve devenir pénible ; ce facteur devra donc être pris en considération lors de l'interprétation.

Le rythme cardiaque est noté toutes les cinq secondes, ceci avant, pendant et après l'épreuve. La fréquence du pouls fournie par palpation de la radiale, relevée expérimentalement par tranches de cinq secondes, a révélé qu'une pulsation pouvait facilement être comptée en plus ou en moins, ce qui correspond, pour une fréquence située entre 5 et 8, à une erreur de 20 à 30 pour 100 (FABRE, 1950).

Nous avons donc procédé, comme la plupart des auteurs, à des enregistrements électrocardiographiques, qui permettent une mesure rigoureuse sur des documents dont l'analyse peut être différée. Pour rendre la lecture des résultats plus aisée, on établit une courbe en portant en abscisse le temps par tranches de cinq secondes, et en ordonnée le rythme du pouls durant la période de cinq secondes correspondante.

Il est possible de distinguer, schématiquement, quatre types principaux de courbes :

- Type I : Allure plane, sans fréquence supérieure à 7 pulsations par cinq secondes.
- Type II : Elévation graduelle de la fréquence jusqu'à 9 pulsations par cinq secondes.
- Type III : Elévation rapide et soutenue de la fréquence jusqu'à 10 pulsations ou davantage par cinq secondes.
- Type IV : Elévation rapide de la fréquence jusqu'à 10 pulsations ou davantage par cinq secondes, suivie d'une chute rapide jusqu'à un rythme souvent inférieur au chiffre initial de repos.

Il est rare que la courbe obtenue concorde exactement avec l'un de ces quatre schémas ; il est néanmoins commode de la rattacher à l'un des tracés type. L'interprétation, tout aussi schématique, permet suivant le type de cette courbe de tirer les conclusions suivantes :

- Type I : Sujet en bonne forme.
- Type II : Aptitude moyenne, susceptible d'amélioration par l'entraînement.
- Type III : Sujet à mettre au repos ; un examen médical est nécessaire pour déceler la raison de sa déficience physique.
- Type IV : Sujet absolument inapte ; s'il ne s'agit pas d'un incident aigu et passager, il est peu probable que le sujet puisse jamais faire du sport de compétition.

Des critiques ont été formulées : le sujet pourrait « tricher », d'abord en fermant l'embout buccal de l'appareil avec la langue ; mais ce sub-

terfuge est immédiatement détecté par la fixité absolue de la colonne de mercure. Le sujet peut également maintenir une pression intrabuccale au moyen des muscles des joues et continuer à respirer par le nez ; ce procédé exige toutefois un certain entraînement et l'examineur perçoit fort bien la respiration nasale.

Actuellement, si les perturbations physiologiques provoquées par ce test sont loin d'être toutes connues, l'accord semble fait sur un point essentiel : l'épreuve provoque une hyperpression dans les cavités droites et le territoire artériel pulmonaire, et ceci en dehors de toute baisse appréciable de la teneur en oxygène du sang artériel, comme le prouvent les travaux de PLAS, BOURDINAUD et MISSENARD (1950) grâce à des techniques oxymétriques. L'hyperpression intrathoracique provoque un ralentissement de la vitesse circulatoire et une augmentation de pression au niveau des cavités droites ; l'hyperpression auriculaire droite met en jeu le réflexe de BAINBRIDGE : d'où l'accélération du rythme cardiaque et la poussée hypertensive initiale. L'hypercapnie probable qui s'établit au cours du test agit sur le centre vaso-constricteur, probablement aussi sur les centres adrénalino-sécréteurs, et provoque une réaction hypertensive abdominale qui compense et dépasse largement la vasodilatation superficielle et permet la distribution d'une masse sanguine efficace suffisante. Dès la fin de l'hypertension expiratoire, le tonus vagal augmente d'où le ralentissement du rythme et l'apparition d'extra-systoles nodales (CHAILLEY-BERT et PLAS, 1956).

L'électrocardiogramme est influencé par l'hyperpression déclenchée par l'épreuve. Presque constamment, on note, dès les premières systoles ou après 5 à 10 secondes, une augmentation de l'onde P qui double ou triple son amplitude ; chez les sujets normaux, ces altérations cessent dès la fin du test. On peut également observer une sous-dénivellation du segment ST ainsi qu'une onde T négative ou diphasique.

### Epreuve de LIAN

L'épreuve de LIAN (1916) consiste à faire courir le sujet sur place, au pas de gymnastique, en fléchissant les jambes à angle droit sur les cuisses, en levant peu les genoux, pendant une minute, au rythme de deux foulées par seconde. Le pouls est noté avant et immédiatement après l'exercice, puis dans le premier quart de chacune des minutes qui suivent, jusqu'à ce que le rythme cardiaque soit retourné à la valeur notée avant l'épreuve. Pendant ce temps, le sujet doit rester debout, immobile et silencieux.

L'auteur estime l'aptitude « cardiaque » à l'exercice du sujet examiné comme :

- très bonne, si le retour au rythme initial s'effectue à la deuxième minute qui suit l'exercice,
- bonne, si ce retour n'a lieu qu'à la troisième minute,

- passable, si le rythme cardiaque après être retombé dès la deuxième minute à un taux un peu supérieur (une ou deux pulsations) au rythme initial, s'y maintient pendant les trois ou quatre minutes qui suivent,
- médiocre si la chute consécutive à l'exercice est moins rapide et si le rythme initial n'est atteint que vers la quatrième minute,
- mauvaise, si après une chute très lente, le retour au rythme initial n'a lieu qu'à la sixième minute ou au-delà.

## RÉSULTATS

La prise du pouls, de la tension artérielle et leurs variations lors du passage en position debout, les électrocardiogrammes pratiqués à titre de surveillance systématique, n'ont pas donné d'indications très significatives sur l'état de fatigue des sujets. Une tachycardie, d'ailleurs modérée, a été seulement observée à la fin des vols.

L'épreuve de LIAN n'a pas montré de variations nettes entre les examens pratiqués au repos et après les vols : on note, en ce qui concerne les stagiaires, un accroissement de deux pulsations par 15 secondes par rapport au rythme de départ (19 pour les valeurs basales, 21 pour les valeurs après vols), et d'une pulsation aussitôt après l'épreuve (respectivement 32 et 33); le retour au rythme de départ se fait, en moyenne après trois minutes. Les instructeurs, qui présentent un accroissement de rythme d'une pulsation avant l'épreuve (18-19) et de trois pulsations aussitôt après (30-33), mettent en moyenne quatre minutes et plus pour revenir au rythme de départ.

Dans un cas très net de fatigue aiguë, à la suite d'un vol prolongé à haute altitude et en l'absence d'apport nutritionnel suffisant, l'épreuve de LIAN a provoqué une lipothymie chez l'un de nos sujets. Nous nous attarderons sur cette observation lors de l'exposé de nos recherches nutritionnelles.

La durée du test de FLACK, c'est-à-dire le temps d'apnée, ne diffère pas dans les données « aiguës » et basales. L'étude synthétique des variations du rythme cardiaque étant difficile à réaliser, nous nous sommes contentés de les rapporter sur des courbes propres à chaque sujet et de les grouper en fonction de leur morphologie ; ainsi avons-nous pu remarquer trois tendances :

- Chez cinq stagiaires et deux instructeurs, une mauvaise performance en début de stage, alors que les courbes suivantes sont normales, atteste de la mauvaise condition physique des sujets à leur arrivée, puis de la normalisation de leur état (courbe : sujet « Meu »).

- Chez trois stagiaires et un instructeur, certains vols effectués vers la fin du stage ont entraîné un tracé évident de fatigue (courbe : sujet « Cha »).
- Chez tous les autres sujets, les vols en planeur n'ont pratiquement pas entraîné de modifications des courbes tout au long du stage.

## COMMENTAIRES

Les variations observées après les vols, ou au décours du stage, sont de faible amplitude; il n'existe pas de fatigue chronique.

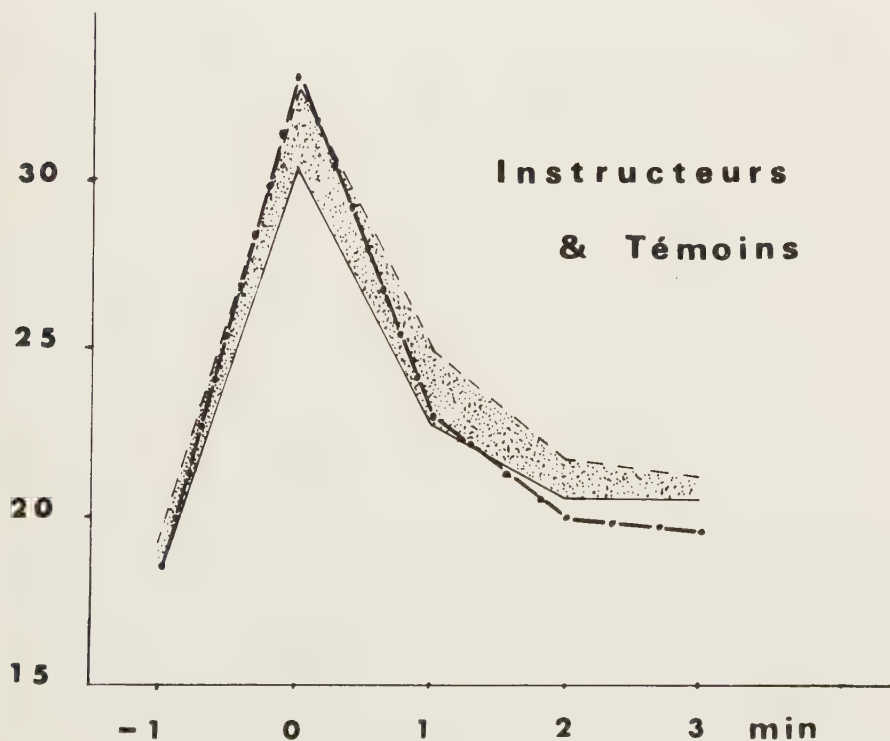
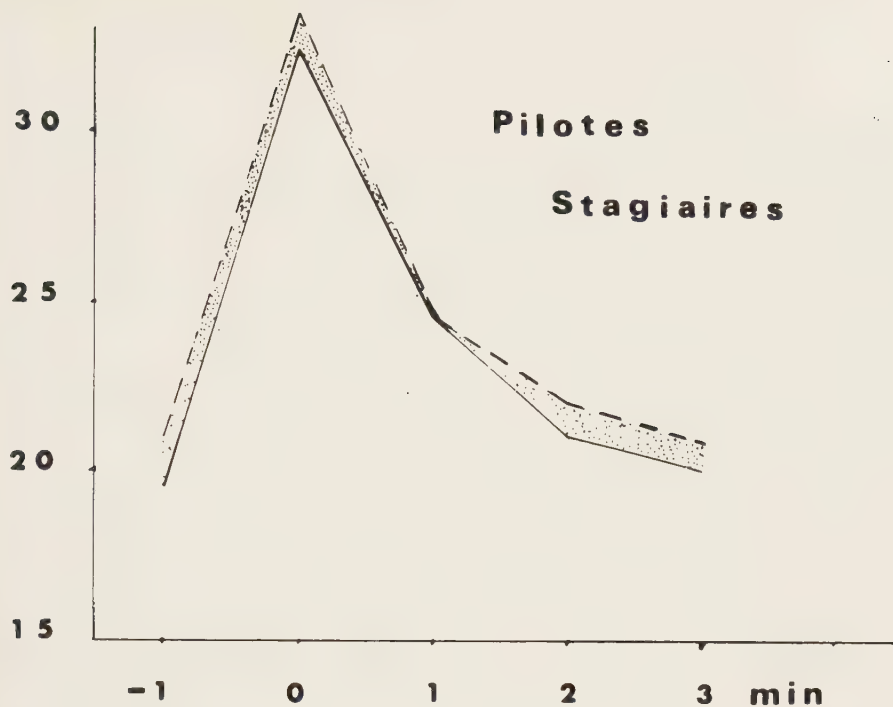
Des manifestations de fatigue aiguë ont cependant été enregistrées :

- en début de stage chez certains sujets ; celles-ci étant vraisemblablement dues aux nombreux facteurs déjà énumérés (voyage, climat, activité professionnelle, etc.),
- chez d'autres stagiaires, au décours des vols de la seconde partie du stage ; les performances demandées étaient alors plus importantes, tant par la durée et la difficulté des parcours en montagne que par le type des machines utilisées,
- dans des cas plus particuliers, d'insuffisance d'apport nutritionnel ou de maladie infectieuse intercurrente.

L'épreuve de LIAN permet d'objectiver une différence entre les stagiaires et les instructeurs, principalement en ce qui concerne la durée du retour au rythme cardiaque de base : nous y voyons le reflet de la moyenne d'âge des instructeurs qui est plus élevée que celle des stagiaires, peut-être aussi du rôle joué par certaines tâches qui leur étaient dévolues : nous pensons surtout ici au caractère particulièrement pénible des vols de remorquage.

Une objection peut être formulée à l'endroit du test de FLACK tel que nous l'avons pratiqué. La dénivellation de 40 millimètres de mercure est en effet fixée de manière arbitraire et ne représente pas « un effort comparable chez tous les sujets » ; ainsi a-t-on fixé d'autres normes — tout aussi arbitraires — pour les enfants au-dessous de 14 ans (20 millimètres) et pour les femmes (30 millimètres); encore faut-il savoir que certaines femmes qualifiées de « robustes » bénéficient tout de même des 40 millimètres... C'est pourquoi FABRE (1950) a établi des protocoles paraissant plus rationnels, et très faciles à déterminer pour chaque sujet : la résistance d'apnée est fixée au tiers de l'effort maximum dont est capable chaque individu. Toutefois, dans le cas particulier de notre étude où il s'agit moins de déterminer une « aptitude aux compétitions » que de mesurer une fatigue, les résultats apportés par le test de FLACK ne sont appelés à fournir que des valeurs comparatives entre les mesures aiguës et basales et la précédente critique devient caduque.

En conclusion, notre recherche des conséquences cardio-vasculaires de la pratique du vol à voile nous apporte moins d'enseignements que l'étude des corollaires endocriniens de cette activité. Certaines observations isolées gardent néanmoins un certain intérêt, en particulier celle ayant conduit aux recherches sur les aspects nutritionnels de la fatigue chez ces pilotes et faisant l'objet de la quatrième partie de notre travail.



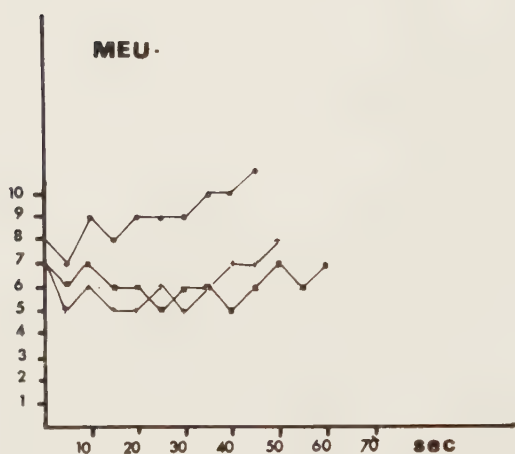
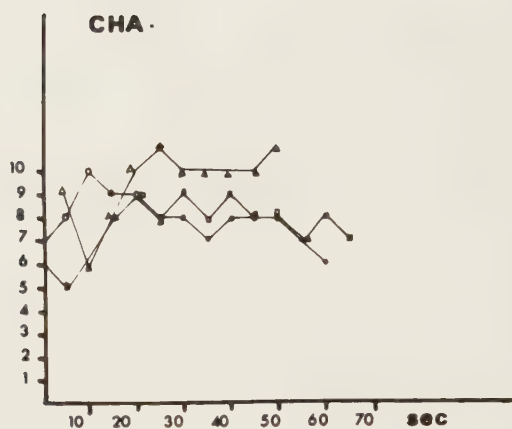
Figures 8 et 9 : Epreuves de LIAN

En traits continus, les valeurs basales

En pointillés, les valeurs après vols

( Leur différence est objectivée par une zone ombrée )

En traits-points, les valeurs obtenues chez les sujets témoins



Figures 11 et 10 : Tests de FLACK

On trouvera l'explication détaillée des figures dans le texte

- Epreuves témoins, au début du stage : cercles clairs
- Epreuves témoins, à la fin du stage: carrés clairs
- Après les vols ( Première moitié du stage ) : croix
- Après les vols ( Deuxième moitié du stage ) : triangles

## CHAPITRE IV

---

### Étude Psychotechnique



## ÉTUDE PSYCHOTECHNIQUE

Les impératifs de sécurité, en aéronautique, dominent en général tous les autres problèmes ; surtout si la finalité du vol n'a comme support — et c'est le cas du vol à voile — que le perfectionnement d'un individu dans la connaissance de l'atmosphère ou du pilotage, ou l'accomplissement d'un geste sportif à forte composante personnelle.

Il apparaissait donc normal que nous abordions l'étude de la fatigue, en sus des explorations endocriniennes ou cardiovasculaires précédemment exposées, par des méthodes susceptibles de renseigner sur le comportement moteur ou psychomoteur des pilotes après des vols longs ou difficiles.

### L'EXPLORATION PSYCHOTECHNIQUE

L'étude du comportement, qui constitue la base méthodologique de nombreuses études psychophysiologiques, peut être adaptée aux recherches faites dans l'espèce humaine. Mais il est nécessaire de reproduire aussi parfaitement que possible les conditions expérimentales destinées à induire un comportement, d'où la création d'épreuves ou « tests » qui consistent à soumettre une population d'individus à une situation définie avec précision. « Un test, écrit J.M. LAHY, est essentiellement une épreuve d'examen psychologique permettant d'apprécier telle aptitude par la mesure des résultats fournis par le sujet. L'épreuve est constituée par une tâche que le sujet doit accomplir dans des conditions rigoureusement **fixées** ». Si la **réponse du sujet testé comporte un élément moteur, celui-ci** doit donc également présenter des conditions de réalisation semblables d'une épreuve à l'autre. Il est alors possible d'obtenir, grâce à l'analyse statistique des réponses d'un certain nombre de sujets, l'étalonnage d'une épreuve donnée, pour une population donnée. L'étude des tests effectués par un individu se fera donc par comparaison avec cet étalonnage.

Les méthodes psychotechniques ont vu leur utilisation s'accroître de jour en jour en médecine du travail, comme moyen d'approche dans

l'étude de l'adaptation de l'homme à sa tâche et dans les recherches des inter-relations « homme-outil » et « homme-machine ». C'est dire l'importance de ces investigations lorsqu'il s'agit « d'orientation » ou de « sélection » professionnelle. Il serait cependant illusoire de vouloir aujourd'hui considérer la psychotechnique comme une science parvenue à sa totale maturité, et ses applications déterminées de façon définitive.

La médecine aéronautique, qui représente une médecine du travail très spécialisée, utilise avec fruit certains tests psychotechniques pour la sélection du personnel navigant, l'efficacité des épreuves choisies ayant été démontrée par la confrontation, durant plusieurs années, de leurs résultats à ceux de l'entraînement à l'école de pilotage. C'est cet ensemble de tests sélectionnés à la suite d'une expérimentation préalable, et face à un besoin ou une situation professionnelle donnée, que l'on dénomme « batterie de tests », et dont on devra posséder un parfait étalonnage. C'est par exemple le « stanine » ou « standard-nine », note exprimée sur neuf de la réponse au test, qu'utilisent les psychotechniciens de l'Armée de l'Air française. La « validité » du test ou de la batterie de tests apparaît alors comme « le degré de liaison qui existe entre le rendement du sujet lors de l'épreuve et son rendement au cours de l'activité visée — celle que l'épreuve est sensée prévoir — » (M. BUCH).

Mais il faut se souvenir que ce type d'épreuves est soumis à un certain nombre d'aléas qui tiennent à la nature même, psychologique, de l'investigation. Le sujet doit être parfaitement coopérant, et l'enjeu de l'examen devra inciter à rechercher et à éliminer toute possibilité de tricherie. La part doit être faite entre connaissances acquises et aptitudes réelles, ce qui nous ramène au problème de l'homogénéité de la population étudiée : il faudra ainsi examiner séparément des candidats pilotes et des sujets déjà brevetés. La réalisation du test lui-même peut faire l'objet d'un apprentissage et sa répétition ne pourra se faire que dans des conditions parfaitement définies.

La fatigue, et plus particulièrement celle du système nerveux central, influence le résultat de l'épreuve : celle-ci se modifie dans sa durée, sa difficulté s'accroît, des erreurs qui pourront être comptabilisées apparaissent.

L'utilisation des tests psychotechniques chez nos vélivoles, dans l'étude de la fatigue, se justifiait donc par la nature même de l'activité aéronautique pratiquée, dont le pilotage représente l'un des éléments essentiels. Nos populations, bien que limitées, étaient relativement homogènes : nous en indiquerons d'ailleurs, lors de l'exploitation de nos résultats, les possibilités de disparité.

Nos études comparatives nous ont dispensés de l'étalonnage préalable de nos différents tests : nous nous sommes cependant heurtés à certaines difficultés dues à l'apprentissage, et qui n'ont pu être écartées.

## PROTOCOLE — CHOIX DES TESTS

Les épreuves choisies devaient, a priori, couvrir par leur diversité l'ensemble des fonctions — sensorielles, motrices et d'intégration — mises en jeu au cours du vol à voile, et les plus élaborées d'entre elles présenter une certaine parenté avec le comportement gestuel des pilotes. De la même manière que lors de nos études des comportements endocrinien et cardiovasculaire, nous avons pratiqué chez les mêmes sujets et aux mêmes horaires plusieurs mesures au repos et après les vols ; les résultats des tests ainsi réalisés ont été analysés sous l'angle de leur valeur comparative.

La batterie de tests moteurs et psychomoteurs a donc été mise au point à l'aide des épreuves suivantes :

### Ergographie

L'ergographie consiste en l'étude du travail fourni par un muscle ou un groupe musculaire, grâce à l'enregistrement des déplacements d'un bras de levier mobilisé par leur contraction.

L'ergographe imaginé par Mosso en 1890 est constitué d'un appareil contenteur qui immobilise l'avant-bras ainsi que l'index et l'annulaire. Le médus libre, dans un mouvement de flexion, soulève un poids (3 à 5 kilogrammes) suspendu à un fil réfléchi par une poulie et sur le trajet duquel un stylet inscripteur est fixé, permettant ainsi d'enregistrer les amplitudes des mouvements, c'est-à-dire finalement le travail fourni par la contraction des fléchisseurs du médus.

Pour une charge convenable et un rythme de contractions suffisamment rapprochées (30 à 60 par minute) la fatigue se manifeste rapidement. Les contractions deviennent de moins en moins amples et finissent par devenir nulles en quelques minutes. Le tracé recueilli, ou ergogramme, présente généralement une forme curviligne, variable d'un individu à l'autre, mais spécifique d'un même sujet si l'épreuve est effectuée dans les mêmes conditions. La fatigue peut être chiffrée soit en calculant le quotient de fatigue de IOTYKO :  $H/N$  ( $H$  = amplitude des soulèvements,  $N$  = nombre de mouvements), soit en faisant le rapport  $s/S$  de la surface « s » de la courbe obtenue avec la surface  $S$  du rectangle dans lequel elle s'inscrit (FABRE et ROUGIER).

### Tapping-test

Le tapping-test représente une exploration simple et objective de la vitesse du mouvement volontaire répété lorsque l'on s'intéresse davantage à la rapidité de la réponse qu'à la précision de la coordination. L'appareil consiste en une clé de MORSE ; en appuyant sur le bouton de cette clé, on établit un contact qui est transmis à un compteur d'impulsions. Le sujet maintient le socle entre le pouce et le médus, et tappe le plus rapi-

dement possible sur le bouton avec son index. Le nombre de frappes est compté par tranches de 15 secondes.

### **Trémomètre en « V » de PIERON**

L'appareil se compose d'un « V » métallique dont les deux branches ont un écartement croissant. L'une d'elles porte une graduation en centimètres dont le point de départ est l'extrémité libre de la branche. Un stylet métallique, à manche isolant, est relié par un fil conducteur à la base de l'appareil. Lorsque ce stylet est mis en contact avec l'une des branches de l'appareil, il déclenche une sonnerie.

Ce test, destiné comme son nom l'indique à mesurer le tremblement, explore en réalité des facteurs complexes de la psychomotricité, en particulier la précision du geste. Le sujet doit introduire le stylet entre les branches du trémomètre, aussi loin que possible sans toucher les branches. La distance mesurée est inversement proportionnelle à l'intensité du tremblement. Trois essais sont réalisés pour chaque main et leur moyenne calculée.

### **Epreuve du tourneur de LAHY**

Dite également de « dissociation du mouvement des mains », ce test permet en premier lieu l'exploration de cette possibilité gestuelle qui engage des fonctions psychomotrices très complexes. Son exécution fait intervenir en outre un certain nombre d'autres facteurs tels que le raisonnement (apprentissage des mouvements de dissociation), l'effort d'attention, la mémoire.

L'appareil se compose d'un socle sur lequel est monté un chariot de tour comprenant deux glissières placées perpendiculairement et commandées chacune par une manivelle. L'une d'elles commande le déplacement du chariot dans le sens longitudinal, l'autre dans le sens transversal. Un pointeau métallique est relié au socle de manière rigide. A la surface du plateau est incrustée une bande d'ébonite de 3 millimètres de largeur dont le tracé se compose de trois droites rectangulaires suivies de deux droites obliques inclinées différemment et qui se termine par deux courbes de rayons différents.

L'épreuve consiste à faire glisser le pointeau sur la ligne sinueuse de la tablette en actionnant les manivelles. Lorsque le pointeau sort de la ligne d'ébonite, un contact s'établit et enregistre l'erreur ; d'autre part, le temps mis pour parcourir le circuit d'une extrémité à l'autre est noté.

### **Mesure du temps de réaction à un stimulus visuel et auditif**

Les réactions psychomotrices sont l'expression de la réponse motrice, volontaire, à une excitation sensorielle qui peut être auditive, visuelle ou tactile. Le temps de réaction sera l'intervalle qui s'écoule entre le moment du début de l'excitation et celui de la réponse, c'est-à-dire le

mouvement approprié. Ce délai correspond donc à une série de phénomènes successifs : perception de la sensation, transmission, impulsion motrice, mouvement.

Deux types de tests sont utilisés : la réaction psychomotrice simple et les réactions à un choix programmé ; le sujet doit alors adapter un mouvement volontaire à une excitation donnée parmi plusieurs excitations possibles et attendues.

Au temps de réaction simple précédent s'ajoute ici un acte de tri dont la durée vient s'ajouter à celle de la perception et l'allonge d'autant plus que l'acte est plus complexe.

L'appareillage est représenté par un chronoscope électronique affichant les temps de réaction en centièmes de secondes. La programmation est assurée par la rotation d'une galette imprimée qui détermine, tour à tour, selon une répartition préétablie mais correspondant à une distribution au hasard, les incitations sensorielles, visuelles ou auditives : les premières sont effectuées par l'allumage de l'une des trois lampes de couleurs différentes placées face au sujet, les secondes par un signal sonore de fréquence variable, communiqué grâce à un casque d'écoute. Le sujet testé doit répondre en appuyant sur l'une des précelles qu'il tient dans chacune de ses mains. En fonction du stimulus observé, la réponse se fera par pression sur la précelle gauche, droite, ou sur les deux simultanément. Une lampe visible uniquement de l'examineur indique les erreurs. L'appareil permet, dans une phase préalable, un apprentissage du test avant de procéder à l'examen par excitations sensorielles relevant d'un choix programmé.

## RÉSULTATS

Les courbes enveloppes ergographiques ont été mesurées par planimétrie, et le rapport s/S a été ensuite calculé selon la méthode de FABRE et ROUGIER. Nous avons observé une légère diminution, non significative, de la capacité de travail après les vols, identique pour les médus droit et gauche.

L'étude, très élémentaire, que constitue le trémomètre de PIERON a permis d'objectiver après les vols une diminution de 14 pour cent pour la main droite, de 9 pour cent pour la main gauche par rapport aux mesures faites chez les sujets au repos.

Lors du tapping-test, le nombre de frappes successives, comptées toutes les 15 secondes pendant 45 secondes, s'infléchit nettement après les vols, surtout chez les stagiaires, et d'une façon plus nette pour la main droite. On notera cependant la fatigabilité plus grande de la main gauche, confirmant ainsi le caractère droitier de l'ensemble de nos sujets,

La diminution des temps de réaction psychomoteurs à un choix programmé, au fur et à mesure de la répétition des épreuves du début à la fin du stage, ne fait sans aucun doute que traduire l'entraînement au matériel utilisé et le développement d'un certain apprentissage. On remarquera que les temps de réaction des témoins au sol, testés deux fois seulement à 20 jours d'intervalle, sont beaucoup plus stables. Les modifications observées après les vols sont peu importantes et ne permettent pas d'analyse particulière.

Le temps mis par le sujet pour parcourir le circuit du test du tourneur augmente de 9 pour cent en moyenne après les vols, tandis que le chiffre moyen d'erreurs s'accroît de façon plus significative, passant de 6 à 9.

## COMMENTAIRES

L'analyse des différents tests nous indique donc, tout d'abord, le caractère modeste des altérations observées dans les fonctions psychomotrices après les vols, ceci dans le cadre — nous le répétons — d'un stage de vol à voile réalisé dans les conditions les plus favorables, climatiques et sociologiques, d'entraînement des pilotes. L'absence d'accident ou d'incident arien durant la même période vient d'ailleurs à l'appui de nos propres constatations, qui nous incitent donc a priori à un certain optimisme vis-à-vis du facteur humain de sécurité au cours des vols.

La fatigue proprement musculaire appréciée par l'ergographe et par le tapping-test prédomine au niveau de la main droite, mais est également perceptible pour la main gauche, dont le travail, au cours du pilotage du planeur, est pratiquement nul.

Cette fatigue de la main gauche nous fait émettre deux hypothèses ; elle est peut-être le reflet d'un état de fatigue aiguë de l'organisme, ou l'indication d'un relatif épuisement de la main gauche, lié à un état de crispation musculaire symétrique des deux membres supérieurs. La plupart des pilotes placent cette main gauche en position d'attente sur la poignée des aérofreins, et cette attitude facilite l'hypertonie des fléchisseurs des doigts. La confrontation à d'autres explorations, telles que la tremétrie, dont nous avons vu les modifications bilatérales, ainsi qu'aux résultats des mesures de l'élimination de la créatinine, nous feraient pencher pour cette deuxième hypothèse d'une fatigue musculaire locale.

Les explorations psychotechniques proprement dites, temps de réaction psychomotrice et tests du tourneur, ne montrent que de faibles modifications au cours des vols. Malgré les facteurs de fatigue nerveuse assez spécifiques tels que l'anoxie, les fonctions d'attention et d'exécution ont été peu altérées, ce qui est rassurant quant à la qualité du pilotage, surtout à la période délicate de la prise de terrain après un vol prolongé.

## ERGOGRAPHE

(Stagiaires)

|                                | Main droite | Main gauche |
|--------------------------------|-------------|-------------|
| Moyenne des valeurs basales    | 0,83        | 0,79        |
| Moyenne des valeurs après vols | 0,80        | 0,77        |

Les chiffres indiquent le rapport  $s/S$  de la surface "s" de l'ergogramme sur celle "S" du rectangle qui l'inscrit. Ils sont inversement proportionnels) à l'état de fatigue du groupe musculaire intéressé.

## TREMOMETRE en V de PIERON

(Stagiaires)

|                                    | Main droite | Main gauche |
|------------------------------------|-------------|-------------|
| Moyenne des valeurs basales        | 14,5        | 13,5        |
| Moyenne des valeurs après les vols | 12,5        | 12,5        |

Les chiffres indiquent, en centimètres, la pénétration du stylet dans l'ouverture en "V" du Trémomètre, et sont inversement proportionnels à l'intensité du tremblement.

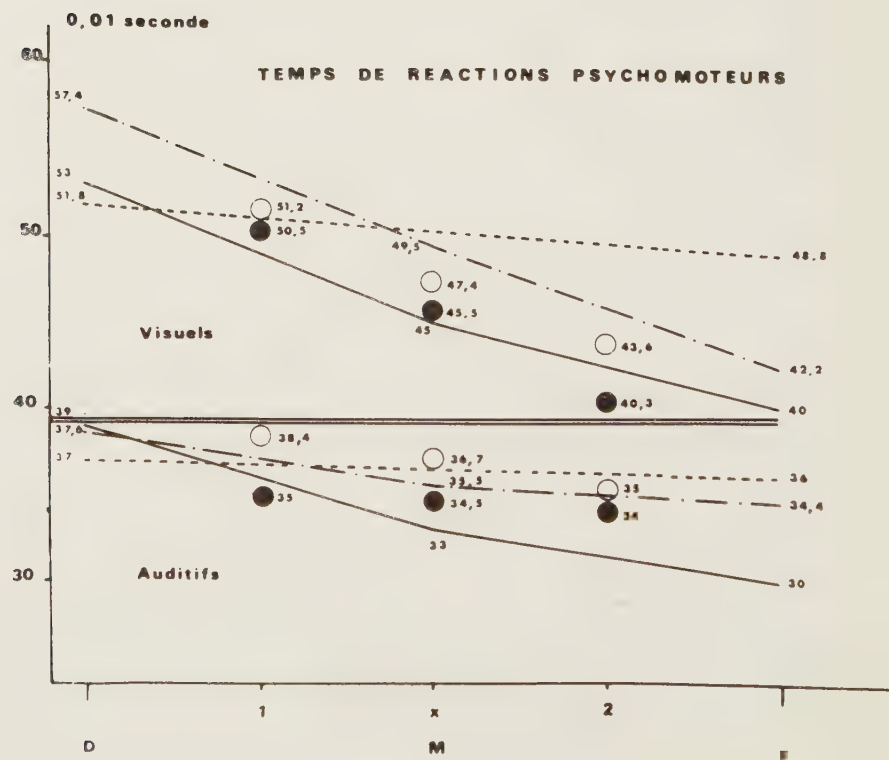
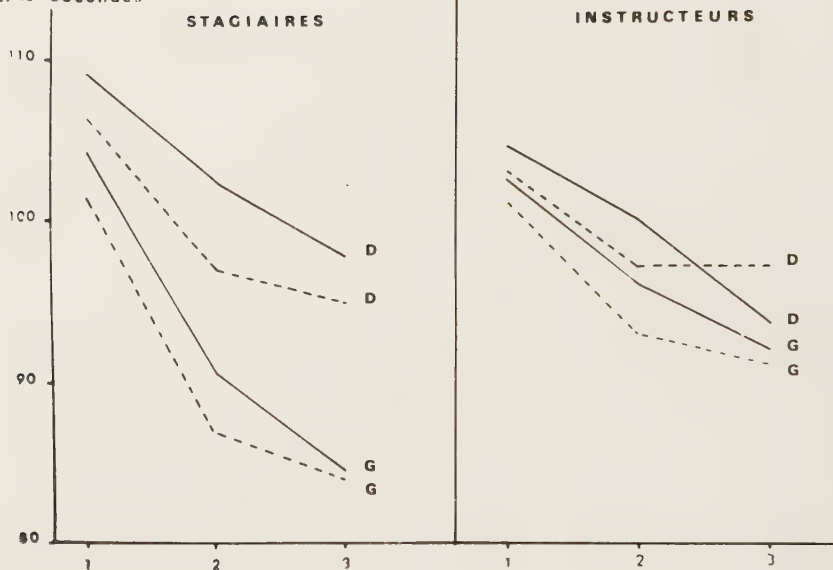
## TEST du TOURNEUR

(Stagiaires)

|                                    | Temps  | Nombre d'erreurs |
|------------------------------------|--------|------------------|
| Moyenne des valeurs basales        | 2' 58" | 6                |
| Moyenne des valeurs après les vols | 3' 14" | 9                |

# TAPPING - TEST

Nb de frappes  
par 15 secondes



Figures 12 et 13

La légende est identique à celle des premières figures.

Retenons par ailleurs l'amélioration des performances des sujets lors de la répétition des mesures des temps de réactions, qui nous montre que même en état de fatigue aiguë, nos pilotes ont été encore capables d'un certain **apprentissage**.

Seul le test du tourneur vient apporter une note un peu discordante dans cet ensemble, avec une augmentation du temps de parcours et un accroissement du nombre des erreurs au décours des vols.

Malgré l'absence de développement d'un état de fatigue chronique, l'existence de ces quelques altérations nous confirme donc la nécessité de surveiller ces pilotes. Nous pensons que chez des sujets en mauvais état physique, le vol à voile peut constituer non une détente mais une fatigue supplémentaire ; la survenue d'accidents chez de jeunes universitaires, lors de périodes d'entraînement succédant immédiatement à des examens, nous indique que l'absence de récupération après une fatigue aiguë peut faire atteindre au pilote le seuil des conditions de travail aérien dangereuses.

En conclusion, dans les conditions de notre étude, les altérations des fonctions musculaires et psychomotrices ont été modérées, n'ont abouti au développement d'aucun état de fatigue chronique. Néanmoins, l'analyse de certains tests nous apporte d'utiles renseignements quant au comportement gestuel des pilotes, et nous suggère les impératifs de sécurité à respecter au cours de la pratique du vol à voile.



## CHAPITRE V

---

### Aspects Nutritionnels



## **ASPECTS NUTRITIONNELS**

### **CONSIDÉRATIONS PRÉLIMINAIRES PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL**

Les multiples agressions que nous avons énumérées qui atteignent le pilote de vol à voile au cours de ses diverses activités, au sol ou en vol, font apparaître la nécessité d'un apport nutritif adapté en qualité et en quantité à ses besoins particuliers.

On sait par ailleurs le danger des hypoglycémies survenant au cours des vols, leurs conséquences physiopathologiques, au niveau du système nerveux plus spécialement, étant aggravées par des facteurs tels que l'hypocapnie, ou les accélérations positives (BRENT, 1960). Plusieurs revues générales ont été récemment publiées dans la littérature à ce sujet : nous citerons en particulier les articles de PINGANNAUD et FABRE (1964), de TABUSSE, PANNIER et GOURVES (1965) qui établissent par le détail les circonstances étiopathogéniques des hypoglycémies des aviateurs.

Or, il s'avère que, parmi le personnel navigant des diverses catégories aéronautiques (aviation militaire, commerciale, d'affaires, sportive), ce sont les pilotes de vol à voile qui effectuent les vols solitaires les plus longs, nécessitant une activité de pilotage et une attention incessantes, par conséquent difficilement compatibles avec un apport alimentaire contemporain d'un volume appréciable.

Les habitudes alimentaires françaises d'autre part, font que chez cette population de sportifs non avertis des conséquences possibles de régimes mal établis ou mal équilibrés, la plupart des vols sur planeur, liés aux circonstances aérologiques, c'est-à-dire à des horaires diurnes limités, s'accomplissent alors même que les pilotes n'ont absorbé qu'une faible ration calorique, à composante glucidique presque exclusive, favorisant même probablement l'apparition d'hypoglycémies dites réactionnelles (FABRE, PINGANNAUD et LASSEUR, 1965).

C'est au cours de notre premier stage d'étude, en septembre 1966, que nous avons pu, grâce à une observation accidentelle, démontrer la réalité de nos craintes :

L'incident se situe au milieu de ce stage. Après un vol de 7 heures sur planeur monoplace, nous soumettions aux divers tests exposés dans les chapitres précédents, un pilote de 32 ans, en bon état physique, bien entraîné puisque instructeur dans son propre aéroclub, quand, au décours d'une épreuve de LIAN, le sujet présenta brutalement un accident lipothymique. L'habitude des tests et leur absence d'agressivité faisaient décliner l'hypothèse d'une origine émotionnelle. Par contre, l'interrogatoire permettait d'apprendre que ce sujet était totalement à jeun depuis près de 12 heures, et que le petit déjeuner matinal s'était limité à un café au lait des plus hypocaloriques. Nous ne pûmes malheureusement à cette date vérifier le taux glycémique de notre sujet, mais cette observation devait nous inciter à mettre sur pied un nouveau stage de recherches chez nos pilotes vélivoles, axé sur l'étude de leurs besoins nutritionnels.

Nous nous sommes tout d'abord proposés de réaliser cette étude en deux périodes bien distinctes, la première étant destinée à établir le constat des imperfections du régime alimentaire, la seconde étant consacrée aux tentatives d'amélioration éventuelle des apports nutritifs. Nous avons pu effectivement procéder à ces deux temps expérimentaux successifs, mais nous avons été contrariés dans la réalisation de nos projets par une modification d'orientation (formation d'instructeurs) du Centre national de Vol à Voile de Saint-Auban-sur-Durance, où s'est déroulée à nouveau notre recherche en juillet 1967 : les pilotes prenaient en effet régulièrement un repas à 12 heures ; seuls les après-midi étaient consacrés aux activités en vol.

Grâce au volontariat de quatre jeunes pilotes stagiaires et de plusieurs membres de l'équipe médicale, grâce aussi à la collaboration amicale et efficace du personnel du Centre (économat, cuisine) deux sortes d'investigations ont pu être pratiquées :

- 1) La réalisation chez nos sujets, témoins ou pilotes, de cycles glycémiques. La glycémie a été déterminée par microdosages (matériel Beckmann Spinco) en utilisant la méthode à l'orthotoluidine ; les prélèvements étaient faits au niveau du lobe de l'oreille au moyen de microlancettes.
- 2) Une étude par pesée de la ration alimentaire ; les mesures ont été faites tant au niveau de la cuisine, afin de connaître la composition des plats, qu'à celui du réfectoire, pour apprécier exactement les quantités absorbées par chacun de nos sujets testés.

La modification de régime alimentaire souhaitée (par augmentation de la ration calorique et protidique matinale) n'a pu être pratiquée malheureusement que quelques jours avant la fin du stage, mais nous pourrions cependant constater plus loin l'intérêt indiscutable de cette trop courte expérience.

## RÉSULTATS

Nous avons reporté sur la figure 14 l'évolution des glycémies chez les quatre sujets pour lesquels des cycles glycémiques ont pu être effectués durant les deux périodes expérimentales du stage, la première comportant un régime spontané avec petits déjeuners presque exclusivement glucidiques, la seconde, de quatre jours, durant lesquels les aliments protidiques ont été mis à la disposition des pilotes au repas du matin : **jambon, viande froide, œufs, etc.**

Deux ordres de constatations peuvent être faites à la lecture de ces graphiques :

— 1) Le niveau glycémique de nos sujets se situe souvent à des niveaux assez bas (70 mg/100 ml), notamment au prélèvement de 12 heures. Bien que ces chiffres doivent être considérés comme physiologiques, ils nous laissent supposer que la suppression du repas de midi — dont nous n'avons pu malheureusement obtenir le volontariat — doit amener le taux du sucre sanguin à des valeurs déjà dangereuses en fin d'après-midi, lorsqu'aucun apport alimentaire n'a été effectué durant cette période.

— 2) L'introduction du nouveau régime amène une rapide transformation de la forme du nouveau cycle, la glycémie méridienne avoisinant souvent les 100 mg/100 ml. Un seul sujet (M) fait exception dans cet échantillonnage limité : mais l'étude des apports réels chez ce garçon (figures 15 et 16) nous montre que durant la deuxième période du stage, ce pilote n'avait pas modifié qualitativement et quantitativement sa ration matinale, sans doute par difficulté de rompre des habitudes alimentaires bien enracinées.

La deuxième partie de nos résultats comprend les valeurs recueillies lors de l'enquête minutieuse pratiquée sur les apports alimentaires du double point de vue qualitatif et quantitatif.

Nous avons regroupé ces résultats selon trois présentations graphiques distinctes :

— 1) D'une part, pour chaque sujet a été indiquée en fonction de l'heure des principaux repas la prise calorique, dans le détail des diverses catégories d'aliments et pour sa valeur globale, le graphique étant répété pour l'une et l'autre des périodes d'observation (figure 15).

— 2) Un ensemble d'autres graphiques, plus globaux, regroupe sous forme d'histogrammes l'évolution quotidienne de chacun des apports alimentaires (figure 16).

— 3) Enfin, une comparaison est faite, sous forme graphique voisine, pour cinq des sujets testés, entre les prises caloriques quotidiennes moyennes de chacune des deux périodes alimentaires distinctes du stage (figure 17).

Sur les premiers graphiques (figure 15) nous remarquons le bas niveau calorique des repas matinaux, généralement voisins, parfois inférieurs à 500 calories/1,73 m<sup>2</sup> de surface corporelle, pendant la première période alimentaire. La composante glucidique presque exclusive de ces repas laisse peu de place aux apports lipidiques, et surtout protidiques. Par contre la mise à la disposition d'aliments lipidiques et protidiques complémentaires améliore l'homogénéité des prises alimentaires : chez le sujet L., nous notons en particulier la réalisation d'un apport protidique bien réparti entre les trois repas.

Quant aux courbes que nous avons artificiellement tracées de façon à faire apparaître les variations de niveau des diverses catégories d'aliments au cours du nyctémère, elles nous montrent la suppression du croisement des droites représentatives du sens de l'évolution des rations glucidique et lipidique, entre les repas du matin et de midi, signalant ainsi, pour la deuxième période, une plus parfaite répartition de l'absorption de ces deux composantes.

Les seconds graphiques (figure 16) résumant les absorptions quotidiennes qualitatives et quantitatives font part de l'enrichissement progressif de la ration alimentaire en lipides (celle-ci avant débuté au milieu de la première période) avec retentissement corollaire sur les absorptions glucidiques. L'origine diététique de certaines variations peut être affirmée par la similitude de certaines fluctuations de la ration alimentaire chez plusieurs sujets (à noter par exemple les apports caloriques importants des 27 et 29 juillet). Certaines modifications accidentelles peuvent également être dues à l'importance très variable des apports en calories alcool ; mais il faut noter que celles-ci ne sont présentes que dans la ration alimentaire des sujets masculins.

La comparaison des deux périodes pour chaque individu (figure 17) nous montre le caractère minime de la modification de prise calorique entre les deux périodes (sauf pour le sujet C, mais dont la première phase d'observation ne correspond qu'à une seule journée, succédant à un voyage fatigant).

La prise protéique apparaît également constante (autour de 14 pour cent). Lorsque la ration lipidique augmente (sujets M, B, L) c'est aux dépens de l'apport glucidique ; et nous rejoignons la remarque déjà faite à ce sujet lors de l'examen de la précédente figure.

Nous avons également été frappés par la régularité de la composition alimentaire du sujet D, qui a réussi à maintenir une proportion très satisfaisante (13 pour cent de protides, 37 pour cent de lipides et 50 pour cent de glucides) pour chacune des périodes du stage, alors même que se modifiait la préparation culinaire (plus lipidique) et les apports matinaux (davantage protidiques). La stabilité du cycle glycémique de ce sujet (— 82 — 75 — 80 mg/100 ml respectivement à 7 h. 30, 12 h. et 19 h.) confirme l'excellence de la régulation de ses apports alimentaires.

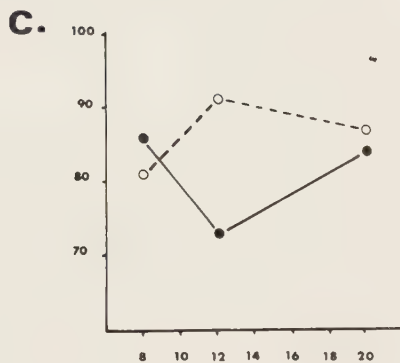
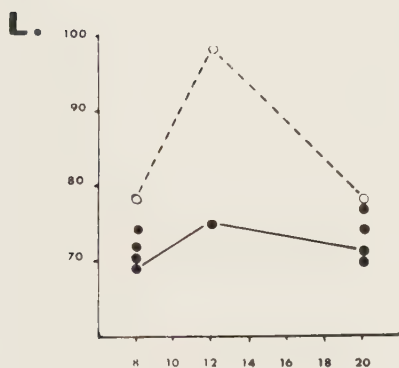
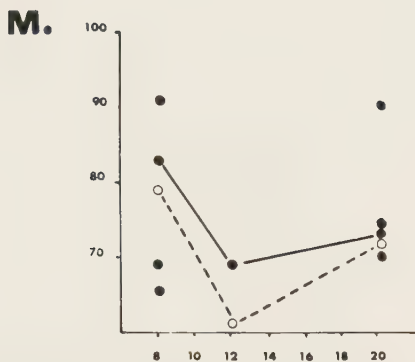
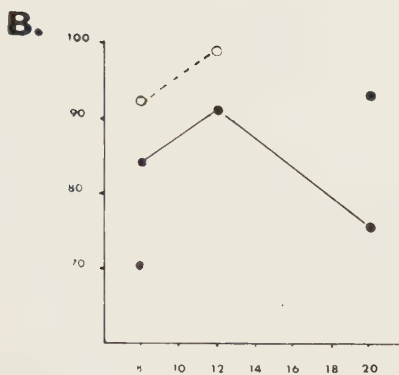


Figure 14 : Cycles glycémiques

chez trois pilotes stagiaires ( sujets B., M., L. )  
et un membre de l'équipe médicale ( sujet C. )

Glycémies ( en mg pour 100 ml ) , en fonction de l'Heure

Régime spontané : cercles pleins et traits continus  
Régime modifié : cercles clairs et lignes pointillées

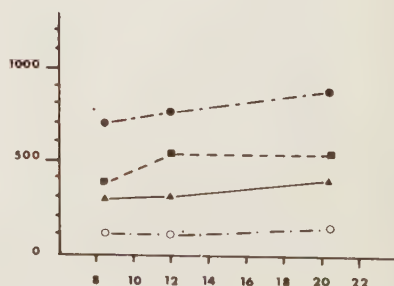
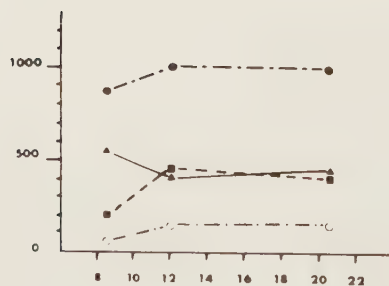
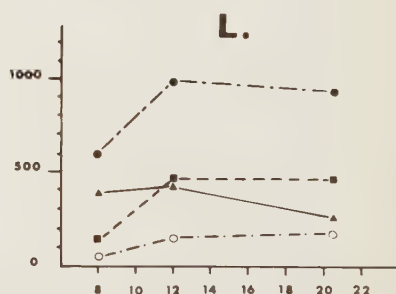
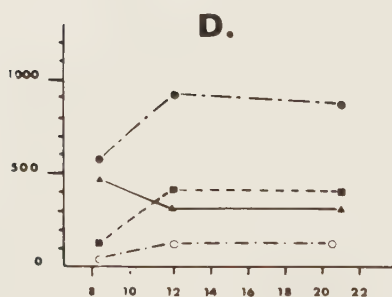
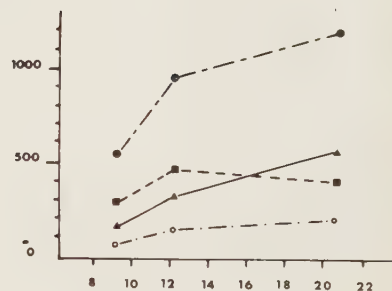
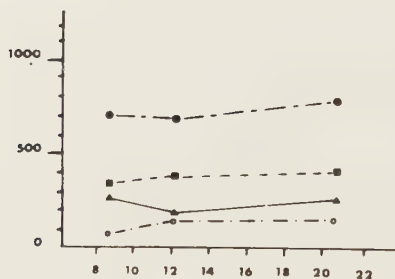
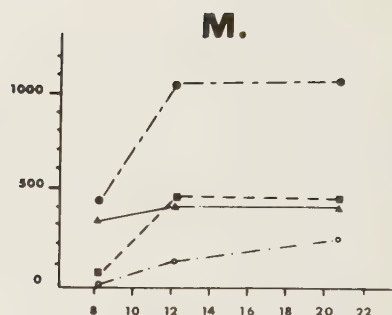
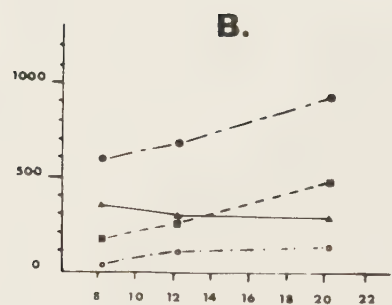


Figure 15

Evolution de la ration alimentaire quotidienne globale et analytique  
( Légende page suivante )

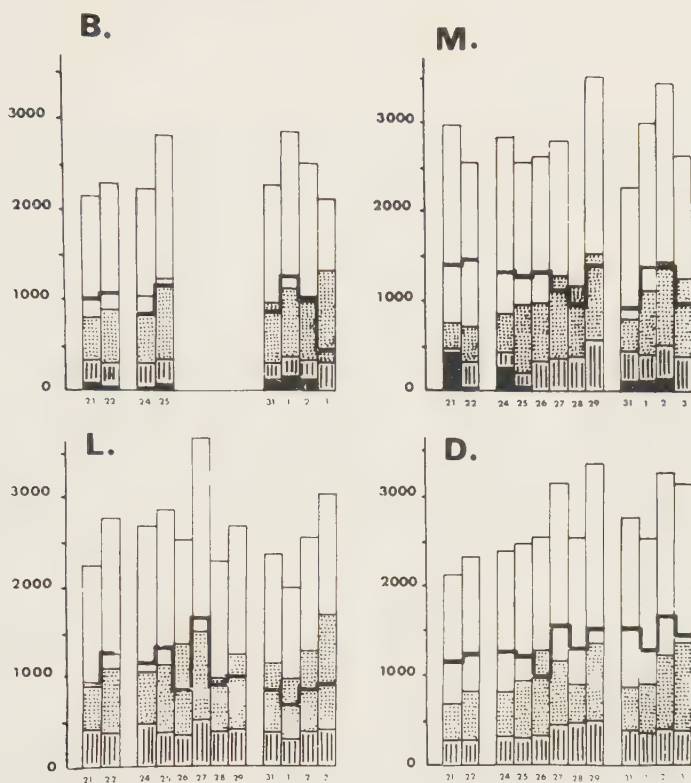


Figure 16

Evolution des apports alimentaires chez quatre pilotes stagiaires  
( Représentation par histogrammes superposés )

En noir : calories alcool  
En rayures verticales : calories protidiques  
En pointillé : calories lipidiques  
En clair ( limité par un trait gras ) :  
calories glucidiques  
En clair ( hauteur totale ) : ration globale

Légende de la Figure 15 ( Page précédente )

Pour chacun des sujets, le graphique supérieur correspond au régime spontané, le graphique inférieur au régime modifié

Absorptions caloriques ( en Calories / 1,73 m<sup>2</sup> de surface ), en fonction de l'heure :

- totales : cercles et traits-points,
- glucidiques : triangles pleins et traits continus
- lipidiques : carrés pleins et lignes pointillées
- protidiques : cercles clairs et traits-points

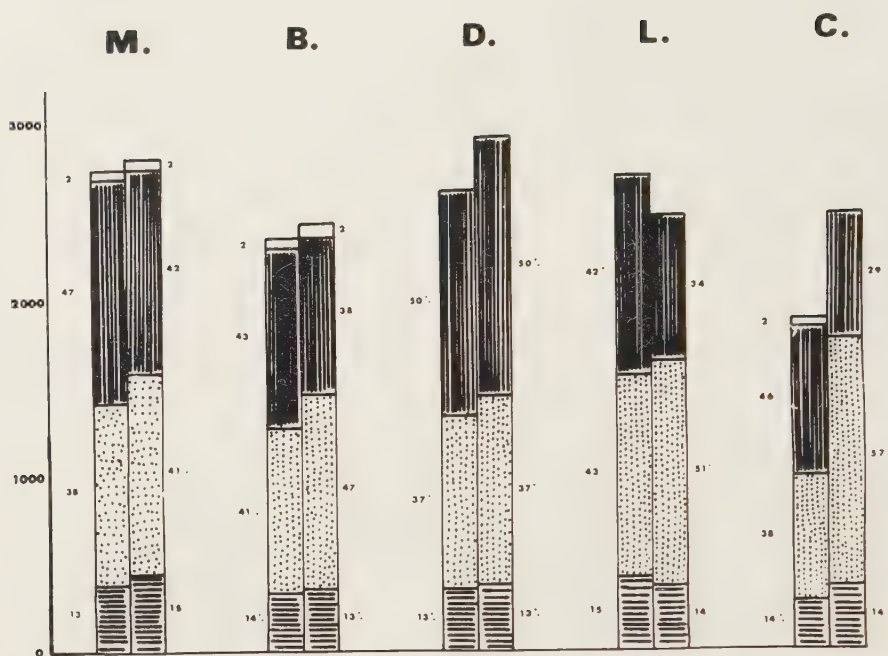


Figure 17

Comparaison, chez quatre pilotes stagiaires ( sujets M., B., D., L. ) et un membre de l'équipe médicale ( sujet C. ), entre les moyennes des apports caloriques quotidiens ( en Calories / 1,73 m<sup>2</sup> de surface ) durant les première et deuxième périodes du stage

En hachures horizontales : calories protidiques  
 En pointillé : calories lipidiques  
 En hachures verticales : calories glucidiques  
 En clair : calories alcool

## COMMENTAIRES

Les réflexions complémentaires de celles qui viennent d'être faites lors de l'exposé des résultats sont les suivantes :

Nous avons, bien qu'imparfaitement, pu établir un « constat de carence » dans la ration alimentaire du pilote de vol à voile français : sa glycémie de 12 heures est basse, et doit probablement atteindre un niveau dangereux en cas de suppression totale du repas de midi.

Une modification des apports matinaux, avec introduction d'aliments protidiques, suivant les habitudes anglo-saxonnes, paraît la meilleure solution si elle peut être acceptée par les intéressés, et éventuellement par les services responsables de l'alimentation des pilotes dans le cas d'une collectivité dirigée.

Une autre conséquence heureuse de l'étalement des absorptions protidiques et lipidiques apparaît sur les terrains de vol à voile, généralement actifs dans des régions chaudes ou pendant une saison estivale. L'action dynamique spécifique de ces deux catégories d'aliments fait apparaître une extra-chaleur, dont il est moins que souhaitable qu'elle aboutisse à un accroissement des besoins de thermolyse aux heures les plus chaudes de la journée. La présence permanente sur la piste de Saint-Auban d'une bonbonne d'eau fraîche indique suffisamment le niveau élevé de cette thermolyse pour que l'on recherche à éviter une cause supplémentaire de déperdition hydrique et énergétique.

Cette lutte contre la chaleur, évidente chez les sujets de service sur la piste, mériterait d'être précisée chez les pilotes, lorsque ceux-ci réalisent des vols prolongés sous la protection relative d'une verrière emmagasinant les calories solaires.

Ce dernier problème nous a fait envisager la qualité de l'alimentation à administrer aux pilotes pendant leurs performances. La prise, à la demande, de produits riches en glucides tels que nougat, figues, fruits secs, a déjà donné des résultats — au moins subjectifs — intéressants. Le « trou » occasionné par la suppression du repas de midi peut être ainsi partiellement comblé, et d'autant plus facilement si le rythme des prises alimentaires habituelles commence par un petit déjeuner copieux, et un repas de midi allégé.

Nous avons fait quelques essais, trop peu nombreux actuellement de rations de 500 calories de produits diététiques spécialisés pour l'alimentation du sportif (aliment VIVAN), présentant l'inconvénient pratique et l'avantage théorique d'une administration en solution hydrique ; il semble que, devant ce nouveau problème diététique, la difficulté majeure reste l'obtention de la coopération des intéressés,

En conclusion, cette étude des besoins nutritionnels et des apports alimentaires du pilote de vol à voile fait apparaître d'actuelles carences qui peuvent être corrigées par une modification de l'importance de certains repas (petit déjeuner mieux équilibré et plus important dans sa valeur énergétique). La suppression du repas de midi du fait de l'activité vélivole fait poser le problème des aliments de suppléance, solides ou liquides, pouvant être emportés par le pilote.

De tels perfectionnements dans la ration des vélivoles ne pourraient qu'aboutir à un accroissement de la sécurité des vols, et peut-être à une amélioration des performances individuelles, l'une et l'autre étant largement dépendantes du facteur humain.





## CONCLUSIONS

Deux stages successifs de recherches, dans un Centre de Vol à Voile doublement spécialisé dans le perfectionnement au vol de montagne et dans la formation d'instructeurs, ne nous ont permis d'aborder que de façon limitée les problèmes médico-physiologiques qui se posent en regard de la pratique de ce sport.

La première étude, réalisée en septembre 1966, a mis en jeu de façon conjuguée divers moyens d'investigations destinés à explorer les multiples aspects de la fatigue : dosages biochimiques et endocriniens, **épreuves cardiovasculaires, tests psychotechniques ; ce premier travail a** conduit à mettre en évidence une fatigue aiguë au cours des vols, dont l'analyse indique une composante musculaire non négligeable, mais surtout une origine émotionnelle. L'absence de développement de fatigue chronique, le comportement satisfaisant des pilotes face aux diverses investigations psychotechniques font porter des conclusions favorables sur les conditions de déroulement du stage de vol à voile ayant fait l'objet de notre étude. Mais ce cas particulier ne peut être soumis à généralisation, et il serait souhaitable de répéter cette recherche chez des sujets observés après une période professionnelle intense. Nous pensons ici au comportement des jeunes universitaires, évoqué au début de notre exposé.

La seconde recherche, consacrée aux aspects nutritionnels de la **fatigue chez les vélivoles, a été effectuée en juillet 1967. L'étude extrêmement minutieuse, quantitative et qualitative, de la ration alimentaire,** et de ses conséquences sur la glycémie chez les pilotes de vol à voile, nous confirme la crainte que nous avons ressentie à la suite d'une observation privilégiée, de la possibilité de survenue d'accidents hypoglycémiques. L'utilisation d'un régime plus convenablement adapté, avec **enrichissement de la ration protidique matinale, et alimentation au cours du vol, a** été faite sur une période d'observation trop courte à notre gré. Mais les informations objectives et subjectives retirées de cette expérience s'avèrent des plus encourageantes.

De telles recherches doivent être poursuivies, et abordés les très nombreux autres problèmes physiologiques et humains qui se posent aux responsables du développement, avec une efficacité et une sécurité accrue, de cette activité aéronautique, sportive et éducative que constitue le vol à voile.



## BIBLIOGRAPHIE

1. ACHÉ (J.). — Considérations physio-pathologiques sur le vol à voile. *Thèse Méd.*, Bordeaux, 1961, 74 p.
2. ADAMSON (G.). — Fatigue. *J Aviat. Méd.*, 1952, **33**, 584-585.
3. ALBEAUX-FERNET (M.) et col. — Le fonctionnement du cortex surrénal dans les états cataboliques d'agression. *Ann. endocr. (Paris)*, 1960, **12**, 84-106.
4. ALLARD (P.). — Contribution à l'étude de la réaction de DONAGGIO. *Thèse Méd.*, Bordeaux, 1948, dact., 78 p.
5. AMPHOUX (V.). — Contribution à l'étude de l'apnée volontaire. *Thèse Méd.*, Bordeaux, 1934, 27 p.
6. BALKE (B.). — Physiological stress and fatigue in aerial missions for the control of forest fires. *Aerospace Med.*, 1966, **37**, 221-227.
7. BARTLEY (S.), CHUTE (E.). — Fatigue and impairment in man. New York, Mc Graw Hill ed., 1947.
8. BARTLEY (S.). — Fatigue and inadequacy. *Physiol. Rev.*, 1957, **37**, 301-323.
9. BEREST (N.). — Le syndrome d'aéroadaptation. *Méd. aéro.*, 1950, **5**, 219-231.
10. FANCHET (R.), DESPIAU-PUJO (F.), GRANOTIER (E.) et col. — La fatigue du personnel navigant. *Maroc méd.*, 1963, **42**, 771-778.
11. BLANCHOT (M.O.). — Intérêt de l'estimation indirecte de la consommation maximale d'oxygène dans l'évaluation de l'aptitude physique des sportifs. *Thèse Méd.*, Nancy, 1961, dact., 193 p.
12. BORREY (F.), FESSARD (J.). — Réflexions à propos de l'arrêté du 13 novembre 1953, fixant les conditions d'aptitude du personnel navigant de l'aéronautique civile. *Méd. aéro.*, 1959, **7**, 282-288.
13. BOURGEOIS (M.). — Epreuve du maximum d'apnée volontaire. *Thèse Méd.*, Paris, 1920, 44 p.
14. BRAUNS-VERBENE (S. Von). — Zusammenhänge zwischen Menstruation und Unfällen in der Frauensegelflugschulung. *Luftfahrtmedizin*, 1943, **8**, 141-160.
15. BRENT (H.), CAREY (T.), POWELL (T.) et col. — Synergism between effects of hyperventilation, hypoglycemia and positive acceleration. *Aerospace Med.*, 1960, **31**, 101-115.
16. BRUENER (H.), KLEIN (K.), RUFF (S.). — Clinical problems in aviation medicine. Fatigue studies on overseas flight. *Aerospace Med.*, 1965, **36**, 552-553.

17. BUGARD (P.). — La fatigue. Paris, Masson éd., 1960, 308 p.
18. BUGARD (P.). — Etude hormonale et métabolique de la fatigue. *Ann. endocr.* (Paris), 1961, **22**, 1000-1007.
19. BUGARD (P.), HENRY (M.). — Quelques aspects de la fatigue dans l'aviation de transport. *Presse méd.*, 1961, **44**, 1903-1906.
20. BUGARD (P.). — Variations des 17 céto et 17 OH stéroïdes et de la créatinine urinaire en rapport avec le vol sur avions inter-continentaux. *Rev. Méd. aéro.* (Paris), 1962, **2**, 19-21.
21. CIER (J.F.), PEYRIN (L.). — La méthylation de la noradrénaline dans le tissu surrénal. *J. Physiol.* (Paris), 1962, **54**, 537-547.
22. CHAILLEY-BERT (P.), PLAS (F.). — Les épreuves cardiaques fonctionnelles. *Méd. Educat. phys. Sport*, 1956, **3**, 123-174.
23. COLIN (J.), POLONOVSKI (C.). — Explorations biologiques en pédiatrie. Paris, Expansion scient. française, 1963, 1168 p.
24. CRAVEN (C.), SMITH (C.). — Steroid excretion in airmen under stress. *J. Aviat. Med.*, 1955, **26**, 200-205.
25. CREFF (A.), BERARD (L.). — Sport et alimentation. Paris, Vigot Frères, 1963, 364 p.
26. DEROT (H.). — Les hypoglycémies spontanées. *Presse méd.*, 1962, **70**, 629-631.
27. EULER (U.S. Von). — Adrenalin and noradrenalin in various kinds of stress. Washington, Symposium on stress, 1953, 64 p.
28. EULER (U.S. Von), LUNDBERG (V.). — Effect on flying on the epinephrine excretion in Air Force personnel. *J. appl. Physiol.*, 1954, **6**, 551-555.
29. EULER (U.S. Von), HELLNER-BJORKMAN (I.), ORWEN (I.). — Les variations nyctémérales de l'élimination urinaire de l'adrénaline et de la noradrénaline libres et conjuguées chez le sujet sain. *Acta physiol. Scand.*, 1955, **33**, 10.
30. EVRARD (E.). — Physiologie du vol. Hygiène de l'aviateur. Bruxelles, Office de publicité, 1956, 223 p.
31. EYGONNET (J.P.). — Essai d'interprétation de la réponse adrénosympathique dans la régulation de l'équilibre homéostasique de l'organisme par la détermination de l'acide vanillyl-mandélique urinaire au cours de l'exercice musculaire et de circonstances favorisant fatigue sensorielle et tension psychique (pilotage d'avions à réaction). *Thèse Sciences*, Dijon, 1964, dact., 85 p.
32. FABRE (J.), PINGANNAUD (P.M.), LASSEUR (P.). — Problèmes nutritionnels posés par la glycorégulation en aéronautique. *Rev. Corps Santé Armées*, 1965, **6**, 613-622.
33. FABRE (R.). — A propos de l'endurance test de FLACK. *P. Physiol.* (Paris), 1950, **42**, 588.
34. FABRE (R.), ROUGIER (G.). — Physiologie médicale. Paris, Maloine éd., 1954, 1085 p.
35. FALET (R.). — Contribution à l'étude de la réaction de DONAGGIO. Description d'une microméthode. *Méd. aéro.*, 1954, **9**, 153-161.
36. Mc FARLAND (R.). — Human factors in air transportation. New York, Mc Graw Hill éd., 1953, 830 p.

37. FIEDLER (G.). — Ernährungsnormen für das fliegende Personal in der zivilen Luftfahrt. *Ernaehrungsforschung*, 1963, **8**, 734-736.
38. FLACK (M.). — Some simple tests of physical efficiency. London, *Lancet*, 1919, 210-212.
39. FLACK (M.). — Some considerations on the estimation of physical efficiency. *Brit. M.J. Lond.*, 1923, **2**, 921-923.
40. GEORGES (P.), SABEL (J.). — Le diagnostic biochimique des phéochromocytomes par le dosage des catécholamines urinaires. Etude critique de la méthode fluorimétrique. *Pain. Biol.*, 1963, **8**, 412-419.
41. GONNARD (P.), PELOU (A.). — Sur le dosage fluorimétrique des catécholamines urinaires. *Ann. Biol. Clin.*, 1958, **16**, 519-525.
42. GRANDPIERRE (R.). — Eléments de médecine aéronautique. Paris, Expansion scient. française, 1948, 302 p.
43. GRANDPIERRE (R.), LABARTHE (P.), LEMAIRE (R.). — Les tests de « forme physique » du personnel navigant dans leurs rapports avec le vol sur avions modernes de combat. *Med. aero.*, 1951, **6**, 281-289.
44. GRANDPIERRE (R.), FRANCK (C.), OLSEN (O.). — Utilisation du tap-test de schannement pour le contrôle de la fatigue du personnel navigant de l'aviation. *Med. aero.*, 1954, **9**, 19-20.
45. GUERRIN (J.). — Contribution à l'étude de l'élimination urinaire des catécholamines. *Inese Med.*, Lyon, 1963, dact., 22 p.
46. GUILLAUME (L.). — Application d'une épreuve de sélection des aviateurs au contrôle médico-sportif. Nancy, imprimerie lorraine, 1940, 58 p.
47. HALE (H.). — Endocrine and metabolic changes during a 12 hour simulated night. *U.S. Air Force Sch. Aerospace Med.*, 1950, 1-4.
48. HARTMAN (B.). — Fatigue effects in 24 hour simulated flight charges in pilot proficiency. *U.S. Air Force Sch. Aerospace Med.*, 1965, 1-4.
49. HENRY (R.), SOBEL (C.). — Determination of catécholamines in urines and tissues. *Amer. J. Clin. Path.*, 1957, **27**, 240.
50. HOLT (C.). — Urinary calculosis : aeromedical implications of current concepts. *Aerospace Med.*, 1963, **34**, 392-400.
51. ILLISH (J.), PARIS (J.). — Endocrine diseases in aviation medicine. *Aerospace Med.*, 1960, **31**, 999-1003.
52. JAVELAUD (H.). — Endurance test : ses applications pratiques. *Thèse Méd.*, Paris, 1950, dact., 64 p.
53. JAYLE (M.). — Analyse des stéroïdes hormonaux. Paris, Masson éd., 1962, II tomes.
54. JUIN (G.), PINEAU (P.). — Bases, protocole et résultats d'une enquête médicale sur la fatigue des équipages volant à bord des Boeing 707 commerciaux. *Rev. Méd. aéro.*, 1962, **2**, 7-10.
55. KLEPPING (J.), BUISSON (V.), GUERRIN (J.), ESCOUSSE (A.), DIDIER (J.P.). — Evaluation de l'élimination urinaire des catécholamines chez les pilotes d'avions à réaction. *C.R. Soc. Biol.*, 1963, **157**, 1727-1729.

56. KLEPPING (J.), TRUCHOT (R.), MOUNIER (J.), EYGONNET (J.P.). — Evaluation de l'élimination urinaire de l'acide 3-méthoxy-4-hydroxy-mandélique chez des pilotes d'avions à réaction au cours de vols d'entraînement de différents types. *C.R. Soc. Biol.*, 1964, **158**, 1815-1817.
57. KLEPPING (J.), TRUCHOT (R.), DIDIER (J.P.), ESCOUSSE (A.), EYGONNET (J.P.). — Etude de l'élimination de l'acide vanillyl-mandélique (V.M.A.) pendant l'effort comme critère de la capacité d'adaptation à l'exercice musculaire. *C.R. Soc. Biol.*, 1964, **158**, 2007-2009.
58. LABORIT (M.). — Réaction organique à l'agression et au choc. Paris, Masson éd., 1952.
59. LAFONTAINE (E.). — Une enquête sur la fatigue du personnel navigant de l'aviation civile. *Presse méd.*, 1963, **71**, 1665-1667.
60. LAHY (J.M.). — Contribution à la méthodologie psychotechnique. Le coefficient d'apprentissage d'un test. *Travail humain*, 1938, **6**, 407-430.
61. LEITNER (M.). — Essai d'utilisation du tapping-test pour la détermination de la fatigue du personnel navigant de l'aviation. *Thèse Méd.*, Bordeaux, 1954, 59 p.
62. LIAN (C.). — Epreuve d'aptitude cardiaque à l'effort. *Presse méd.*, 1916, **7**, 563-564.
63. LIAN (C.). — Des épreuves fonctionnelles cardiaques. *Ann. Méd.*, 1918, **5**, 358-373.
64. LIBOTTE (G.), LECOMTE (J.). — Variations nyctémérales de l'élimination urinaire de l'acide 4-hydroxy-3-méthoxy-mandélique. *C.R. Soc. Biol.*, 1962, **156**, 540.
65. MALMEJAC (J.). — Médecine de l'aviation. Bases physiologiques et physio-pathologiques. Paris, Masson éd., 1948, 330 p.
66. MALMEJAC (J.), GROSS (A.). — La fatigue chez l'aviateur. Réflexions au point de vue physiologique. *Méd. aéro.*, 1954, **3**, 136-143.
67. MALMEJAC (J.). — Conceptions actuelles sur l'activité médullo-surrénale. *Col. Endocr.*, Masson éd., 1959, 295-333.
68. MARCHBANKS (V.). — Effect of flying stress on urinary 17 OH corticosteroid levels. *J. Aviat. Med.*, 1958, **29**, 676-682.
69. MARCHBANKS (V.), HALE (H.), ELLIS (J.). — Stress responses of pilots flying 6 hours overwater missions in F-100 and F-104 aircraft. *Aerospace Med.*, 1963, **34**, 15-18.
70. MASES (P.), FALET (R.). — Etude de l'influence des variations de la densité et du débit urinaire sur la réaction de DONAGGIO. *Méd. aéro.*, 1955, **10**, 169-170.
71. MERKLEN (L.), GRANDPIERRE (R.), GUILLAUME (L.). — Epreuve d'aptitude « cardiaque » à l'effort. *Méd. aéro.*, 1947, **2**, 342-352.
72. MONJAUZE (R.), PLAS (F.), VERDEAUX (G.) et col. — Clinical research on the subject of a test on aviator's fatigue. *J. Aviat. Méd.*, 1953, **24**, 143-145.
73. MOULIERAC (L.), SAIS (J.). — Importance du travail musculaire statique dans la fatigue du pilote de chasse. Essai de dosage de la fatigue musculaire par la réaction de DONAGGIO. *Méd. aéro.*, 1954, **9**, 145-152.
74. NESSLER (E.). — Histoire du vol à voile. Paris, Les Œuvres françaises, vers 1950, 280 p.
75. PERRIN (M.J.). — Contribution à l'étude de l'apnée avec effort chez l'homme. *Thèse Méd.*, Bordeaux, 1937, 71 p.

76. PEYRIN (L.), CIER (J.F.), FLANDROIS (R.). — Effet de l'altitude sur l'excrétion urinaire des catécholamines chez l'homme. *Rev. Méd. aéro* (Paris), 1964, **3**, 25-27.
77. PFROMMER (J.). — Aerospace medicine and the problem of hypoglycemia. *Aerospace Med.*, 1962, **33**, 65-68.
78. PIEDALU (P.). — Les phénomènes cardio-vasculaires engendrés par l'effort. *Thèse Méd.*, Paris, 1925, 156 p.
79. PINCUS (G.). — Aspect du métabolisme des stéroïdes hormonaux. Paris, Masson éd., 1955, 109 p.
80. PINGANNAUD (M.), FABRE (J.). — Problèmes physiologiques posés par la régulation de la glycémie en aéronautique. *Rev. Corps Santé Armées*, 1964, **5**, 536-545.
81. PLAS (F.), BOURDINAUD (J.), MISSENARD (A.). — Le test de FLACK. *Presse méd.*, 1950, **17**, 285-286.
82. PLAS (F.), BOURDINAUD (J.). — Valeur respective et signification pathogénique des épreuves d'effort de FLACK et d'anoxie. *Méd. aéro.*, 1951, **6**, 33-39.
83. POWELL (T.). — Episodic unconsciousness in pilots during flight. *J. Aviat. Med.*, 1956, **27**, 301-316.
84. POWELL (T.), CAREY (T.), BRENT (H.), TAYLOR (W.). — Episodes of unconsciousness in pilots during flights in 1956. *J. Aviat. Med.*, 1957, **28**, 374-386.
85. RIFF(J.). — A propos du test de FLACK. *Méd. aéro.*, 1953, **8**, 149-155.
86. ROBBINS (J.), KRATOCHVIL (C.), ELLIS (J.). — In flight studies on hypoglycemia. *J. Aviat. Med.*, 1958, **29**, 247.
87. ROBBINS (J.), KRATOCHVIL (C.), ELLIS (J.), HOWELL (T.). — Studies of hypoglycemia in flight. — *Aerospace Med.*, 1959, **30**, 268-272.
88. ROKATO RATSIMAMANGA (A.). — Fonction du cortex surrénal au cours du travail musculaire. *J. Physiol.* (Paris), 1950, **42**, 81-112.
89. ROUSSEL (B.). — Etude critique de quelques épreuves d'aptitude « cardiaque » à l'effort. *Thèse Méd.*, Nancy, 1927, 237 p.
90. SCHALOW (R.), BOURDINAUD (J.). — Introduction à la recherche médicale en vol à voile ; prises d'électrocardiogrammes à bord de planeurs. *Rev. Méd. aéro.* (Paris), 1966, **5**, 33-37.
91. SCHOLLER (R.), BUSIGNY (M.), JAYLE (M.). — Méthode de dosage des 17-21 dihydroxy-20-cétostéroïdes (17-OH corticoïdes). *Sem. Hôp. Paris*, Path. Biol., fiche de technique biologique, 1957, **33**, **5**, VI/2, 49-51.
92. SCHREUDER (O.). — Medical aspects of aircraft pilot fatigue with special reference to the commercial jet pilot. *Aerospace Med.*, 1966, **37**, suppl., 1-44.
93. SELYÉ (H.). — Le stress. Montréal, Acta Inc. Med., Publ. éd., 1950.
94. SELYÉ (H.), ALBEAUX-FERNET (M.). — Syndrome général d'adaptation. *Encyclo. méd. chir.*, glandes endocrines, 1964, 10001 F 10.
95. SIMONIN (C.). — Médecine du travail. Paris, Maloine éd., 1950, 913 p.
96. SIMONET (H.), BLANCHARD (P.). — Mesures des temps de réactions psychomotrices. *Travail humain*, 1938, **6**, 329-338.

97. SIRRETA (R.). — Le vol à voile. Paris, Flammarion éd., 1953, 214 p.
98. TABUSSE (L.), PANNIER (R.), GOURVES (P.). — Hypoglycémies et malaises chez l'aviateur. *Rev. Corps Santé Armées*, 1965, **6**, 623-637.
99. TAYEAU (F.). — Le syndrome humoral de la fatigue ; le phénomène de DONAGGIO. *Exp. ann. Biochimie méd.*, 1954, **16**, 215-220.
100. TAYEAU (F.), JENSEN (R.), REISS (R.). — Le phénomène d'obstacle de DONAGGIO. *Ann. Biol. clin.*, 1960, **18**, 44-46.
101. TAYLOR (E.). — The incidence of hypoglycemia in flight. *Aerospace Med.*, 1960, **31**, 462-467.
102. VUILLEMIN (P.). — Valeur comparative de l'épreuve de SCHNEIDER et de l'endurance test de FLACK dans la détermination de l'aptitude fonctionnelle aux exercices physiques et aux sports. *Thèse Méd., Nancy*, 1952, dact., 90 p.
103. WIESINGER (K.). — La fatigue du pilote d'avion à réaction. *Méd. aéro.*, 1953, **8**, 315-330.





## TABLE DES MATIÈRES

|                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| AVANT-PROPOS .....                                                            | 27  |
| INTRODUCTION .....                                                            | 31  |
| CHAPITRE I — Les facteurs de fatigue chez les pilotes de<br>vol à voile ..... | 33  |
| CHAPITRE II — Etude biochimique et endocrinienne ....                         | 41  |
| — Fatigue et glandes endocrines .....                                         | 43  |
| — Protocole expérimental .....                                                | 47  |
| — Choix des méthodes - Techniques .....                                       | 48  |
| — Résultats .....                                                             | 51  |
| — Commentaires .....                                                          | 55  |
| CHAPITRE III — Etude du comportement cardiovasculaire                         | 67  |
| — Les études d'aptitude fonctionnelle cardiaque .....                         | 69  |
| — Protocole - Choix des méthodes .....                                        | 70  |
| — Résultats .....                                                             | 74  |
| — Commentaires .....                                                          | 75  |
| CHAPITRE IV — Etude psychotechnique .....                                     | 79  |
| — L'exploration psychotechnique .....                                         | 81  |
| — Protocole - Choix des tests .....                                           | 83  |
| — Résultats .....                                                             | 85  |
| — Commentaires .....                                                          | 86  |
| CHAPITRE V — Aspects nutritionnels .....                                      | 91  |
| — Considérations préliminaires - Protocole expérimental .                     | 93  |
| — Résultats .....                                                             | 95  |
| — Commentaires .....                                                          | 101 |
| CONCLUSIONS .....                                                             | 105 |
| BIBLIOGRAPHIE .....                                                           | 107 |



Vu,  
Nancy, le 21-11-67  
Le Président de Thèse,  
Professeur ARNOULD

Autorisé à soutenir et à imprimer la Thèse  
Nancy, le 22-11-67

Le Doyen,  
Professeur A. BEAU









